



Disertasi - RC143505

Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Fraktal Daerah Aliran Sungai

I GEDE TUNAS
NRP. 3114301003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M. Sc.
Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M. Sc.

PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



Disertasi - RC143505

Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Fraktal Daerah Aliran Sungai

I GEDE TUNAS
NRP. 3114301003

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M. Sc.
Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M. Sc.

PROGRAM DOKTOR
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN DAN REKAYASA SUMBER AIR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar
Doktor (Dr.)


di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
I Gede Tunas
NRP. 3114301003

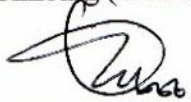
Tanggal Ujian : 15 Mei 2017
Periode Wisuda :

Disetujui oleh:

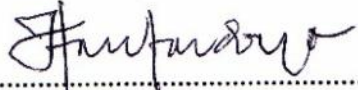
1. Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
NIP. 19540113 198010 1 001


.....
Pembimbing (Promotor)

2. Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.
NIP. 19721202 199802 1 001


.....
Pembimbing (Co-Promotor)

3. Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M. Sc.
NIP. 19610927 198701 1 001


.....
Penguji Internal (Departemen
Teknik Sipil FTSP ITS)

4. Dr. rer. pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19820326 200312 1 004


.....
Penguji Internal ITS
(Departemen Statistik FMIPA
ITS)

5. Prof. Dr. Ir. M. Saleh Pallu, M.Eng.
NIP. 19540910 198303 1 003


.....
Penguji Eksternal (Jurusan
Teknik Sipil Fakultas Teknik
UNHAS Makassar)




Ir. Purwanita Setijanti, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19590427 198503 2 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENGEMBANGAN MODEL HIDROGRAF SATUAN SINTETIK BERDASARKAN KARAKTERISTIK FRAKTAL DAERAH ALIRAN SUNGAI

Nama Mahasiswa : I Gede Tunas
Mahasiswa ID : 3114301003
Promotor : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Co-Promotor : Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M. Sc.

ABSTRAK

Hidrograf satuan sintetik (HSS) merupakan salah satu model transformasi hujan-debit yang masih populer digunakan sampai saat ini terutama untuk memperkirakan debit banjir (rancangan) dalam rangka perencanaan dan pengelolaan sumber daya air. Kelebihan dari model ini adalah mampu memperkirakan debit berdasarkan sekuen waktu pada suatu kejadian hujan, sehingga diperoleh hubungan antara waktu dan debit dalam bentuk hidrograf. Umumnya Model HSS dikembangkan akibat keterbatasan data hidrologi terutama data debit di sungai, sehingga hidrograf satuan pada sungai-sungai yang tidak memiliki data tersebut diperkirakan berdasarkan karakteristik morfometri DAS. Beberapa model HSS yang telah dikembangkan dan banyak digunakan di Indonesia diantaranya HSS Snyder, Nakayasu, GAMA I dan beberapa model lainnya. Kelemahan mendasar dari HSS adalah cenderung memberikan hasil yang menyimpang pada DAS-DAS yang tidak memiliki karakteristik hidrologi serupa dengan DAS-DAS sebagai penyusun model. Pada kebanyakan kasus penyimpangan juga dapat terjadi pada DAS penyusun pada waktu kejadian hujan yang lain. Penyimpangan ini diperkirakan sebagai akibat dari asumsi-asumsi yang digunakan untuk membangun konsep hidrograf satuan dan kompleksitasnya faktor yang mempengaruhi hidrograf terutama sifat hujan dan karakteristik DAS yang tidak terakomodasi dalam model termasuk karakteristik fraktal DAS yang dianggap sangat berpengaruh terhadap pembentukan hidrograf.

Penelitian ini dilakukan pada 8 DAS di Sulawesi Tengah untuk mengembangkan dan menyusun model HSS, dimana berdasarkan hasil studi pendahuluan ketiga model HSS yang diuji (Snyder, Nakayasu dan GAMA I) memiliki kinerja relatif rendah. Penelitian dilakukan dengan cara menyusun model dengan memperhitungkan (menggunakan) beberapa parameter berdasarkan kombinasi karakteristik fraktal dan morfometri utama DAS, dengan melibatkan jumlah DAS terukur yang memadai sebagai obyek penyusun parameter hidrograf sehingga diharapkan dapat menghasilkan model HSS dengan kinerja yang baik terutama untuk diterapkan di daerah penelitian dan sekitarnya di Sulawesi Tengah.

Penelitian ini berhasil merumuskan persamaan waktu puncak (T_p) sebagai fungsi dari parameter panjang sungai utama (L), rasio panjang sungai (R_L) dan kerapatan jaringan drainase (D) dengan koefisien determinasi (r^2) 99.9%, persamaan waktu dasar (T_b) sebagai fungsi dari luas DAS (A) dan kemiringan sungai utama (S) dengan koefisien determinasi (r^2) 98.7% dan persamaan debit puncak sebagai fungsi dari waktu puncak (T_p) dan luas DAS (A). Selain itu

penelitian ini juga berhasil merumuskan persamaan kurva tunggal yang lebih sederhana dan dapat mengatasi kelemahan dan keterbatasan persamaan kurva tunggal HSS lainnya. Persamaan kurva hidrograf ini diturunkan dari Persamaan Distribusi Gamma yang merupakan bagian dari distribusi probabilitas kontinu 2 parameter (2PGDF). Koefisien determinasi tersebut menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mempunyai kinerja dan keberlakuan yang baik pada 8 DAS yang diobservasi dan memenuhi semua syarat uji statistik yang diterapkan. Validasi model HSS pada 3 DAS di Sulawesi Tengah menunjukkan semua parameter pokok hidrograf yang dievaluasi mempunyai kinerja yang sangat baik. Penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata di bawah 20% dengan rincian penyimpangan debit puncak rata-rata sebesar 6.87%, penyimpangan waktu puncak rata-rata sebesar 10.17%, dan penyimpangan waktu dasar rata-rata sebesar 10.78%. Selain itu hasil hitungan juga menunjukkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) pada ketiga DAS relatif sangat tinggi dengan nilai rata-rata sebesar 0.87, yang memperlihatkan kinerja yang baik. Verifikasi model pada 3 DAS di Pulau Jawa dan Bali menunjukkan bahwa penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata <30% dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) relatif cukup baik (> 0.7). Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus ini model HSS tersusun memiliki keberlakuan relatif masih cukup baik pada DAS lain di luar Provinsi Sulawesi Tengah. Namun demikian verifikasi perlu dilakukan dengan melibatkan jumlah DAS yang lebih banyak lagi baik DAS-DAS yang berada di wilayah yang sama terutama di Pulau Sulawesi maupun DAS-DAS di daerah lain di luar Pulau Sulawesi, dengan berbagai karakteristik morfometri dan parameter fraktal DAS serta pola distribusi hujan wilayah

Kata Kunci: Hidrograf satuan sintetik, karakteristik fraktal DAS, kinerja

DEVELOPMENT OF SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH MODEL BASED ON FRACTAL CHARACTERISTICS OF WATERSHED

Student Name : I Gede Tunas
Student ID : 3114301003
Promotor : Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.
Co-Promotor : Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M. Sc.

ABSTRACT

Synthetic unit hydrograph (SUH) is one of the rainfall-runoff transformation models which remains popular today, particularly used to estimate design flood discharge for water resource planning and management. The advantage of this model is its ability to predict discharge (run-off) based on time sequence of a rainfall event, and thus the correlation between time and discharge in the form of hydrograph can be obtained. SUH Model is generally developed due to limitations of hydrological data especially discharge data, therefore the unit hydrograph of these rivers are predicted based on watershed morphometry. Some SUH models which developed based on watershed morphometry are Snyder, Nakayasu, GAMA I SUH and the others. The fundamental weakness of SUH is tending to deviate in others watershed which different characteristics with the watershed used to construct the model. In most cases, the deviation may also occur in watershed which used to construct the model in other rainfall event. These deviations are predicted as a consequence of the assumptions used to establish unit hydrograph concept and complexity factors affecting hydrograph particularly rainfall and watershed characteristics which are not accommodated in the model, including fractal characteristics of watershed which are considered highly affecting of hydrograph formation.

The research was conducted at 8 watersheds in Central Sulawesi to develop and establish SUH models, where based on preliminary study the three evaluated SUH models such as Snyder, Nakayasu and GAMA I showed low performance. The SUH model was constructed by using some parameters based on combination of fractal and main morphometry characteristics of watersheds and using a sufficient amount of measured watersheds to obtain a high performance SUH model for applying around research area in Central Sulawesi.

This research was successfully formulated equation of peak time (T_p) as the function of main river length (L), ratio of river length (R_L) and drainage density (D) with determination coefficient (r^2) of 99.9%, equation of base time (T_b) as the function of watershed area (A) and main river slope (S) with determination coefficient (r^2) of 98.7% and equation of peak discharge (Q_p) as the function of peak time (T_p) and watershed area (A). In addition, this research was also successfully formulated a simpler single curve equation which can overcome limitation and weakness of other single curve equations. The hydrograph curve equation was derived from Gamma Distribution Formula as part of 2 parameters continues probability distribution (2PGDF). These determination coefficients showed that the developed model has good performance and enforceability at 8

observed watersheds and met all the requirements of applied statistical tests. Model validation at three watersheds in Central Sulawesi showed a very well performance for all evaluated main hydrograph parameters. Deviation of average main parameters hydrograph are below 20% with the following details: 6.87% of average peak discharge deviation, 10.17% of average peak time deviation and 10.78% of average base time deviation. Moreover, the result of calculation showed a high performance of average efficiency coefficient of Nash–Sutcliffe Model (E) in the value of 0.87. Model verification at three watersheds in Java and Bali Island showed a fair performance for all evaluated main hydrograph parameters with average deviation under 70% and average efficiency coefficient of Nash–Sutcliffe Model (E) above 0.7. It shows that the SUH model has still relatively good performance for applying at other watersheds outside of Central Sulawesi Province. However, verification should be conducted by involving more watersheds which located both in Sulawesi Island and outside of Sulawesi Island, with various morphometry and fractal characteristics of watershed and rainfall distribution pattern of the region.

Keywords : synthetic unit hydrograph, fractal characteristics of watershed, performance

KATA PENGANTAR

Segenap puja dan puji serta *angayubagya* penulis panjatkan kehadiran *Hyang Widhi Wasa*, karena atas perkenan beliau, karya Disertasi ini dapat diselesaikan dengan berbagai keterbatasannya. Disertasi ini mengambil topik “Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Fraktal Daerah Aliran Sungai”, merupakan salah satu pendekatan baru (alternatif) dalam pengembangan model perkiraan banjir (transformasi hujan-debit) berbasis hidrograf satuan sintetik menggunakan kombinasi karakteristik fraktal dan morfometri DAS khususnya di Indonesia. Berdasarkan pendekatan ini, diperoleh formula parameter utama hidrograf satuan sintetik yang lebih representatif di daerah studi dengan kinerja yang (lebih) baik dan formula kurva (lengkung) hidrograf dalam bentuk persamaan kurva tunggal yang sangat (paling) sederhana.

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh derajat Doktor pada Program Studi Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, disamping persyaratan lain yang tak terpisahkan yakni publikasi artikel pada jurnal internasional terindeks (Scopus) dan jurnal nasional terkreditasi. Mengingat bahwa, penyusunan naskah disertasi ini telah melibatkan berbagai pihak, maka dengan penuh rasa hormat penulis menghaturkan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Nadjadji Anwar, M.Sc.**, Promotor, Guru Besar Departemen Teknik Sipil ITS dengan sambutan, arahan dan bimbingan yang penuh kesejukan dalam berbagai kesempatan, membangkitkan semangat dan inspirasi dalam pasang surut kegalauan, keragu-raguan dan ketidakpastian di tengah samudera yang maha luas, akhirnya tepian sudah menampakkan bayangannya walaupun masih samar-samar, penulis menghaturkan penghormatan yang setinggi-tingginya
2. Bapak **Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.**, Co-Promotor, Pembimbing yang memberikan pelayanan dengan waktu yang tidak terbatas dan petunjuk-petunjuk yang inspiratif, selalu menyisipkan pesan motivasi sehingga tepian samudera yang maha luas itu semakin tampak jelas, penulis menghaturkan penghormatan yang setinggi-tingginya
3. Bapak **Dr. Ir. Edijatno, CES, DEA** dan Bapak **Dr. Ir. Wasis Wardoyo, M. Sc.**, Penguji Internal ITS dari Departemen Teknik Sipil, Guru senior yang senantiasa dengan penuh kesabaran memberikan berbagai petunjuk, saran, koreksi dan nasehat di berbagai pertemuan yang direncanakan maupun yang tidak disengaja, telah membangkitkan semangat penulis sehingga tepian samudera tampak semakin jelas, penulis menghaturkan penghormatan yang setinggi-tingginya
4. Bapak **Dr. rer. pol. Heri Kuswanto, S.Si., M.Si.**, Penguji Internal ITS dari Departemen Statistika (Dosen muda berprestasi), terima kasih yang setinggi-tingginya atas semua petunjuk, koreksi dan masukan terutama dalam analisis statistik dan penggunaan perangkat lunak untuk penyusunan model.
5. Bapak **Prof. Dr. Ir. M. Saleh Pallu, M.Eng.**, Penguji Eksternal dari Universitas Hasanuddin Makassar (Guru Besar pada Jurusan Teknik Sipil

UNHAS), penulis haturkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas berbagai saran dan masukan yang sangat berharga untuk perbaikan karya Disertasi ini.

6. Bapak **Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka**, Ibu **Dr. Eng. Januarti Jaya Eka Putri, ST., MT**, Bapak **Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D.**, dan Bapak **Data Iranata, ST., MT., Ph.D.**, Komisi Program Doktor Teknik Sipil ITS atas semua saran dan masukan pada Ujian Kelayakan Proposal, dan Ujian Disertasi 1, 2 dan 3 dan Ujian Kelayakan Disertasi, sehingga naskah disertasi ini menjadi lebih bernilai dalam keterbatasannya.
7. Ibu **Endah Wahyuni, ST, M.Sc., Ph.D** dan segenap pengelola Program Pascasarjana Teknik Sipil ITS atas berbagai pelayanan dalam menempuh Program Doktor di Jurusan Teknik Sipil ITS

Selanjutnya penulis juga menghaturkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Tadulako **Prof. Dr. Ir. Muh. Basir Cyo, MS** atas rekomendasi Tugas Belajar dan Beasiswa BPPDN.
2. Ibu **Zulyana Tandju, ST, MT**, (Kepala Seksi Perencanaan dan Program), dan Bapak **Radia Sulfikar, ST, MT**, (Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) Bidang Perencanaan dan Program) Balai Wilayah Sungai (BWS) Sulawesi III beserta staf (Bapak Anang dan Medi) yang telah memberikan bantuan data hidrologi (hujan dan AWLR) yang dikelola oleh BWS Sulawesi III Palu
3. Bapak **Sahran Lambaga, ST., M.Si.**, (Kepala UPT PSDA Wilayah I Bongka-Mentawa) dan Bapak **Sukiman, ATP, M.Si**, (Kepala UPT PSDA Wilayah II Lambunu-Buol) yang telah memberikan bantuan data hidrologi di wilayah unit kerjanya.
4. Bapak **Nur Rohmat, S. Hut**, Pengamat Hidrologi Balai Pengelolaan DAS Palu Poso yang telah memberikan bantuan data hidrologi yang dikelola oleh BPDAS Palu Poso di Palu

Terima kasih yang setulus-tulusnya penulis haturkan:

1. Kedua orang tua dan mertua, istri tercinta (Ni Wayan Wartini, SE.), anak-anakku (Dyastari Pravishanti dan Maitriya Asvinandari), dan segenap keluarga atas semua dukungan dan motivasinya
2. Rekan S2/S3, sahabat, handai taulan dan berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa karya disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan dengan berbagai keterbatasannya, namun demikian karya ini diharapkan dapat memberikan sumbangan yang berharga bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi betapapun kecil nilainya, semoga.

Surabaya, Mei 2017

Penulis,

I Gede Tunas

NRP. 3114301003

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	7
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	8
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Keaslian Penelitian (Kebaharuan Penelitian) dan <i>State of The Art</i>	9
1.6 Hipotesa	16
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Tinjauan Terhadap Penelitian dan Studi Terdahulu	17
2.2 Kajian Teori	24
2.2.1 Hidrograf	24
2.2.2 Distribusi Hujan	45
2.2.3 Morfometri DAS	46
2.2.4 Karakteristik Fraktal DAS	51
2.2.5 Analisis Regresi	62
2.2.6 Analisis Kinerja Model	68
2.3 Kerangka Dasar Konsep Penelitian/ <i>Conceptual Framework</i>	69
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Bahan dan Instrumen Penelitian	73
3.2 Variabel Penelitian	74
3.3 Cara Pengukuran Variabel	76
3.4 Keterangan Tentang Data Lain yang Perlu	77
3.5 Metode Pengumpulan Data dan Pengujiannya	77
3.6 Penjelasan Tentang Model yang Digunakan	78
3.7 Cara Penyelesaian Masalah dan Pencapaian Tujuan Penelitian	78
3.8 Rencana Penelitian dan Prosedurnya	79
3.9 Hasil yang Diharapkan dan Metode Interpretasinya	90

BAB 4	KARAKTERISTIK DAS DAN HIDROGRAF BANJIR	
4.1	Deskripsi Umum DAS di Daerah Penelitian	91
4.2	Karkarakteristik Morfometri DAS	93
4.3	Karkarakteristik Fraktal DAS	97
4.4	Karkarakteristik Hidrograf Banjir	118
4.4.1	Persamaan Lengkung Debit (<i>Rating Curve</i>)	120
4.4.2	Pemilihan (Seleksi) Data	120
4.4.3	Pola Distribusi Hujan	134
4.4.4	Hidrograf Satuan Terukur	141
BAB 5	MODEL HIDROGRAF SATUAN SINTETIK	
5.1	Hubungan Antara Variabel	157
5.2	Penyusunan Model Hidrograf Satuan Sintetik	163
5.2.1	Identifikasi Parameter DAS yang Mempengaruhi Hidrograf	165
5.2.2	Persamaan Waktu Puncak	167
5.2.3	Persamaan Waktu Dasar	176
5.2.4	Persamaan Debit Puncak	185
5.2.5	Persamaan Kurva Hidrograf	186
5.2.6	Persamaan Akhir HSS	192
5.3	Validasi	193
5.4	Verifikasi	198
5.4.1	DAS Ciliwung Hulu	199
5.4.2	DAS Cicatih	201
5.4.3	DAS Badung	203
5.5	Perbandingan Kinerja Model HSS	207
5.5.1	HSS Snyder	217
5.5.2	HSS Nakayasu	220
5.5.3	HSS <i>Soil Conservation Service (SCS)</i>	223
5.5.4	HSS GAMA I	225
5.5.5	HSS ITS-1	229
5.5.6	HSS Limantara	232
5.5.7	HSS ITB-1	235
5.5.8	HSS ITB-2	237
5.5.9	HSS ITS-2	240
5.6	Peningkatan Kinerja Model HSS	251
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1	Kesimpulan	267
6.2	Saran	271
	DAFTAR PUSTAKA	273
	LAMPIRAN	281

DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Nama Gambar	Halaman
Gambar 1.1	<i>Gap Analysis</i>	7
Gambar 1.2	Penelitian HSS terdahulu dan posisi penelitian yang akan dilakukan	14
Gambar 2.1	Tipikal hidrograf SCS	19
Gambar 2.2	Penetapan isokron dan histogram waktu-luasan	20
Gambar 2.3	Konsep reservoir linier bertangga pada Model HSS Nash	21
Gambar 2.4	Respon DAS terhadap masukan hujan	25
Gambar 2.5	Hidrograf debit	25
Gambar 2.6	Tipe sungai berdasarkan karakteristik aliran dasar	27
Gambar 2.7	Komponen dan parameter hidrograf	28
Gambar 2.8	Metode pemisahan hidrograf	31
Gambar 2.9	Tipikal hidrograf satuan	33
Gambar 2.10	Hidrograf satuan diturunkan dari hidrograf limpasan	33
Gambar 2.11	Metode Konvolusi	34
Gambar 2.12	Metode Superposisi	35
Gambar 2.13	Metode Kurva S	36
Gambar 2.14	HSS Snyder	38
Gambar 2.15	HSS Nakayasu	39
Gambar 2.16	HSS GAMA I	40
Gambar 2.17	Rasio Dimensi Hidrograf Satuan	44
Gambar 2.18	Pengaruh bentuk DAS terhadap hidrograf	49
Gambar 2.19	Pengaruh ukuran DAS terhadap hidrograf	49
Gambar 2.20	Hubungan antara panjang sungai (L) dengan luas DAS (A)	50
Gambar 2.21	Jaringan sungai dan dimensi fraktal	51
Gambar 2.22	Tipikal keserupaan bentuk (<i>self similarity</i>) jaringan hidrologi sungai analog	53
Gambar 2.23	Metode pengordean sungai di DAS	54
Gambar 2.24	Pola jaringan sungai (<i>drainage network pattern</i>)	55
Gambar 2.25	Sub DAS berdasarkan orde sungai	57
Gambar 2.26	Pendefinisian jaringan sungai berdasarkan beberapa jenis data	58
Gambar 2.27	Klasifikasi kerapatan jaringan sungai	59
Gambar 2.28	Pengaruh kerapatan jaringan sungai terhadap hidrograf	60
Gambar 2.29	Pembagian kotak berdasarkan <i>Box Counting Dimension</i>	61

Nomor Gambar	Nama Gambar	Halaman
Gambar 2.30	Hubungan antara ukuran (r) dan jumlah kotak (N)	62
Gambar 2.31	Kerangka konseptual penelitian	71
Gambar 3.1	Wilayah administrasi Sulawesi Tengah dan jaringan sungainya	74
Gambar 3.2	<i>Tool</i> penentuan orde sungai dan batas DAS pada ArcGIS	81
Gambar 3.3	Data kontur yang dibangkitkan dari <i>DEM</i> dan <i>SRTM Topographic</i>	82
Gambar 3.4	Bagan alir utama (pokok) penelitian	85
Gambar 3.5	Bagan alir analisis fraktal dan morfometri DAS	86
Gambar 3.6	Bagan alir analisis hidrograf satuan terukur	87
Gambar 3.7	Bagan alir analisis penyusunan Model HSS	88
Gambar 4.1	DAS-DAS besar di Sulawesi Tengah	92
Gambar 4.2	Delapan DAS yang diteliti sebagai penyusun model HSS	93
Gambar 4.3	Tutupan lahan delapan DAS	95
Gambar 4.4	Jaringan dan orde sungai delapan DAS	97
Gambar 4.5	Jumlah ruas sungai berdasarkan orde	99
Gambar 4.6	Hubungan antara orde sungai dengan jumlah ruas (segmen)	100
Gambar 4.7	Sub DAS Orde 1	101
Gambar 4.8	Sub DAS Orde 2	102
Gambar 4.9	Sub DAS Orde 3	103
Gambar 4.10	Sub DAS Orde 4	104
Gambar 4.11	Sub DAS Orde 5	105
Gambar 4.12	Luas rata-rata sub DAS berdasarkan orde (km^2)	106
Gambar 4.13	Hubungan antara orde sungai dengan luas sub DAS rata-rata	107
Gambar 4.14	Penentuan ukuran dan jumlah kotak pada <i>Box Counting Dimension</i>	112
Gambar 4.15	Dimensi fraktal jaringan sungai menggunakan <i>Box Counting Dimension</i>	114
Gambar 4.16	Hubungan antara parameter luas DAS (A), keliling DAS (P) dan panjang sungai utama (L)	117
Gambar 4.17	Posisi geografis stasiun hidrologi dan hidrometri pada setiap DAS	119
Gambar 4.18	Koefisien yang sesuai dengan derajat abnormalitas, $\hat{e}=1/T$	128

Nomor Gambar	Nama Gambar	Halaman
Gambar 4.19	Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir	131
Gambar 4.20	Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir (81 pasang data)	132
Gambar 4.21	Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir (75 pasang data)	133
Gambar 4.22	Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan tinggi hujan	135
Gambar 4.23	Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan persentase tinggi hujan	136
Gambar 4.24	Distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di sekitar Gunung Merapi Yogyakarta	137
Gambar 4.25	Frekuensi kejadian hujan untuk beberapa durasi hujan	138
Gambar 4.26	Pola distribusi hujan rata-rata di Pulau Jawa	139
Gambar 4.27	Pola distribusi hujan DAS Way Awi di Bandar Lampung	140
Gambar 4.28	Hidrograf satuan terukur rata-rata	150
Gambar 4.29	Profil memanjang sungai utama 8 DAS	151
Gambar 4.30	Kemiringan lereng Provinsi Sulawesi Tengah	152
Gambar 4.31	Peta jenis tanah Provinsi Sulawesi Tengah	152
Gambar 4.32	Peta tutupan lahan Citra <i>Landsat</i>	154
Gambar 4.33	Peta penggunaan lahan Provinsi Sulawesi Tengah	155
Gambar 4.33	Peta kawasan resapan air Provinsi Sulawesi Tengah	155
Gambar 5.1	Hubungan antara parameter morfometri dengan parameter hidrograf	158
Gambar 5.2	Hubungan antara parameter fraktal dengan parameter hidrograf	159
Gambar 5.3	Penyajian grafis residual hasil regresi	171
Gambar 5.4	Kurva probabilitas normal residual	172
Gambar 5.5	Grafik autokorelasi residual	172
Gambar 5.6	Kurva probabilitas normal residual LOG Q_p	175
Gambar 5.7	Grafik autokorelasi residual LOG T_p	175
Gambar 5.8	Penyajian grafis residual hasil regresi untuk T_b	180
Gambar 5.9	Kurva probabilitas normal residual T_b	181
Gambar 5.10	Grafik autokorelasi residual T_b	181
Gambar 5.11	Kurva probabilitas normal residual LOG T_b	184
Gambar 5.12	Grafik autokorelasi residual LOG T_b	184
Gambar 5.13	Kurva Distribusi Gamma untuk berbagai parameter k dan θ	188
Gambar 5.14	Kurva 3D Distribusi Gamma untuk berbagai parameter	189

Nomor Gambar	Nama Gambar	Halaman
	<i>k</i> dan θ	
Gambar 5.15	Kurva HSS ITS-2 di DAS Pinamula tanggal 15 Nopember 2015	194
Gambar 5.16	Kurva HSS ITS-2 di DAS Toaya tanggal 28 Oktober 2015	195
Gambar 5.17	Kurva HSS ITS-2 di DAS Malino tanggal 16 Desember 2015	196
Gambar 5.18	Perbandingan parameter hidrograf untuk validasi	197
Gambar 5.19	Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan validasi	197
Gambar 5.20	DAS Ciliwung Hulu	199
Gambar 5.21	Kurva HSS ITS-2 di DAS Ciliwung Hulu	200
Gambar 5.22	Karakteristik DAS Cicatih	201
Gambar 5.23	Kurva HSS ITS-2 di DAS Cicatih	202
Gambar 5.24	DAS Badung	203
Gambar 5.25	Kurva HSS ITS-2 di DAS Badung	204
Gambar 5.26	Perbandingan parameter hidrograf untuk verifikasi	206
Gambar 5.27	Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan verifikasi	206
Gambar 5.28	Parameter morfometri DAS Bahomoleo	209
Gambar 5.29	Parameter morfometri DAS Pinamula	210
Gambar 5.30	Parameter morfometri DAS Toaya	211
Gambar 5.31	Parameter morfometri DAS Bangga	212
Gambar 5.32	Parameter morfometri DAS Singkoyo	213
Gambar 5.33	Parameter morfometri DAS Tambun	214
Gambar 5.34	Parameter morfometri DAS Malino	215
Gambar 5.35	Parameter morfometri DAS Bunta	216
Gambar 5.36	HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo	218
Gambar 5.37	HSS Nakayasu DAS Bahomoleo	221
Gambar 5.38	HSS SCS DAS Bahomoleo	224
Gambar 5.39	HSS GAMA I DAS Bahomoleo	227
Gambar 5.40	HSS ITS-1 DAS Bahomoleo	230
Gambar 5.41	HSS Limantara DAS Bahomoleo	233
Gambar 5.42	HSS ITB-1 DAS Bahomoleo	235
Gambar 5.43	HSS ITB-2 DAS Bahomoleo	239
Gambar 5.44	HSS ITS-2 DAS Bahomoleo	241
Gambar 5.45	Hidrograf satuan sintetik (9 HSS) pada 8 DAS	242
Gambar 5.46	HSS berdasarkan persamaan kurva tunggal pada 8 DAS	243
Gambar 5.47	HSS berdasarkan parameter Q_p terbaik pada 8 DAS	244
Gambar 5.48	HSS berdasarkan koefisien E terbaik pada 8 DAS	245

Nomor Gambar	Nama Gambar	Halaman
Gambar 5.49	Penyimpangan debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	248
Gambar 5.50	Penyimpangan waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	248
Gambar 5.51	Penyimpangan waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	249
Gambar 5.52	Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) 8 DAS	249
Gambar 5.53	Aktivasi fasilitas <i>solver</i> pada <i>Microsoft Excel</i>	251

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Nama Tabel	Halaman
Tabel 1.1	Deskripsi Model Hidrograf Satuan Sintetik berdasarkan karakteristik DAS dan penggunaannya di Indonesia	10
Tabel 1.2	Perbandingan parameter beberapa model HSS dan model HSS yang akan dikembangkan (disusun)	13
Tabel 1.3	Sampel, parameter dan sasaran penelitian yang akan dilakukan	15
Tabel 2.1	Faktor-faktor yang mempengaruhi hidrograf	30
Tabel 2.2	Pola distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di kawasan Gunung Merapi	46
Tabel 2.3	Parameter bentuk DAS	48
Tabel 3.1	Variabel masukan (<i>independent variable</i>)	75
Tabel 3.2	Variabel keluaran (<i>dependent variable</i>)	75
Tabel 3.3	Hubungan antara variabel masukan dan keluaran	76
Tabel 3.4	Cara Penyelesaian Masalah dan Pencapaian Tujuan Penelitian	78
Tabel 4.1	Jumlah DAS (sungai) di daerah penelitian	91
Tabel 4.2	Karakteristik morfometri 8 DAS di daerah penelitian	96
Tabel 4.3	Jumlah ruas sungai berdasarkan orde	98
Tabel 4.4	Panjang ruas sungai rata-rata berdasarkan orde (dalam meter)	98
Tabel 4.5	Luas rata-rata sub DAS berdasarkan orde (km ²)	105
Tabel 4.6	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	108
Tabel 4.7	Rasio Panjang Sungai (R_L)	109
Tabel 4.8	Rasio Luas DAS (R_A)	110
Tabel 4.9	Karakteristik fraktal DAS	110
Tabel 4.10	Dimensi fraktal jaringan sungai	111
Tabel 4.11	Hubungan antara ukuran kotak (r) dan jumlah kotak (N)	113
Tabel 4.12	Dimensi fraktal jaringan sungai menggunakan <i>Horton's Coefficient Ratio</i> dan <i>Box Counting Dimension</i>	115
Tabel 4.13	Dimensi fraktal sungai utama	116
Tabel 4.14	Dimensi fraktal DAS berdasarkan hubungan keliling (P) dan luas DAS (A).	117
Tabel 4.15	Posisi geografis stasiun hidrologi dan hidrometri pada setiap DAS	118
Tabel 4.16	Pasangan data hujan dan hidrograf banjir	118
Tabel 4.17	Persamaan lengkung debit	120

Tabel 4.18	Analisis kepenggahan data hujan dengan Metode RAPS	121
Tabel 4.19	Nilai Statistik Q dan R	122
Tabel 4.20	Perhitungan abnormalitas data hujan	124
Tabel 4.21	Hasil uji abnormalitas data hujan	127
Tabel 4.22	Koefisien yang sesuai dengan derajat abnormalitas, $\epsilon=1/T$	127
Tabel 4.23	Jumlah pasangan data hujan total–debit puncak dan angka korelasinya pada data seluruh DAS	130
Tabel 4.24	Jumlah pasangan data hujan total–debit puncak dan angka korelasinya pada data masing–masing DAS	130
Tabel 4.25	Durasi dan frekuensi kejadian hujan	134
Tabel 4.26	Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan tinggi hujan	134
Tabel 4.27	Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan persentase tinggi hujan	136
Tabel 4.28	Distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di sekitar Gunung Merapi Yogyakarta	137
Tabel 4.29	Pola distribusi hujan DAS Way Awi di Bandar Lampung	140
Tabel 4.30	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bahomoleo	141
Tabel 4.31	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Pinamula	142
Tabel 4.32	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Toaya	143
Tabel 4.33	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bangga	144
Tabel 4.34	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Singkoyo	145
Tabel 4.35	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Tambun	146
Tabel 4.36	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Malino	147
Tabel 4.37	Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bunta	148
Tabel 4.38	Parameter hidrograf satuan rata–rata 8 DAS	149
Tabel 5.1	Korelasi antara parameter morfometri dan fraktal dengan parameter hidrograf	160
Tabel 5.2	Parameter morfometri 12 DAS di Pulau Jawa	160
Tabel 5.3	Parameter hidrograf satuan terukur 12 DAS di Pulau Jawa	161
Tabel 5.4	Korelasi antara parameter morfometri dengan parameter hidrograf dari 12 DAS di Pulau Jawa	162
Tabel 5.5	Karakteristik morfometri 8 DAS sebagai variabel bebas	164
Tabel 5.6	Karakteristik fraktal 8 DAS sebagai variabel bebas	164
Tabel 5.7	Parameter hidrograf satuan rata-rata 8 DAS sebagai variabel tak bebas	164
Tabel 5.8	Identifikasi parameter DAS yang mempengaruhi hidrograf	165
Tabel 5.9	Identifikasi parameter hidrograf yang berpengaruh terhadap pengaruh hidrograf	167

Tabel 5.10	Variabel untuk menyusun persamaan waktu puncak	167
Tabel 5.11	Variabel untuk menyusun persamaan waktu dasar	177
Tabel 5.12	Identifikasi model HSS yang menggunakan persamaan kurva hidrograf tunggal	187
Tabel 5.13	Karakteristik DAS untuk validasi	193
Tabel 5.14	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Pinamula tanggal 15 Nopember 2015	194
Tabel 5.15	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Toaya tanggal 28 Oktober 2015	195
Tabel 5.16	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Malino tanggal 16 Desember 2015	196
Tabel 5.17	Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan hasil validasi pada DAS Pinamula, Toaya dan Malino	198
Tabel 5.18	Karakteristik DAS Ciliwung Hulu	199
Tabel 5.19	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Ciliwung Hulu	200
Tabel 5.20	Karakteristik DAS Cicatih	201
Tabel 5.21	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Cicatih	202
Tabel 5.22	Karakteristik DAS Badung	203
Tabel 5.23	Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Badung	204
Tabel 5.24	Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan hasil verifikasi pada DAS Ciliwung Hulu, Cicatih dan Badung	205
Tabel 5.25	Parameter morfometri 8 DAS	207
Tabel 5.26	HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo	218
Tabel 5.27	Penyimpangan parameter Model HSS Snyder	219
Tabel 5.28	HSS Nakayasu DAS Bahomoleo	221
Tabel 5.29	Penyimpangan parameter Model HSS Nakayasu	222
Tabel 5.30	HSS SCS DAS Bahomoleo	224
Tabel 5.31	Penyimpangan parameter Model HSS SCS	225
Tabel 5.32	HSS GAMA I DAS Bahomoleo	227
Tabel 5.33	Penyimpangan parameter Model HSS GAMA I	228
Tabel 5.34	HSS ITS-1 DAS Bahomoleo	230
Tabel 5.35	Penyimpangan parameter Model HSS ITS-1	231
Tabel 5.36	HSS Limantara DAS Bahomoleo	233
Tabel 5.37	Penyimpangan parameter Model HSS Limantara	234
Tabel 5.38	HSS ITB-1 DAS Bahomoleo	236
Tabel 5.39	Penyimpangan parameter Model HSS ITB-1	237
Tabel 5.40	Penyimpangan parameter Model HSS ITB-2	238
Tabel 5.41	HSS ITB-2 DAS Bahomoleo	239
Tabel 5.42	Penyimpangan parameter Model HSS ITS-2	240
Tabel 5.43	HSS ITS-2 DAS Bahomoleo	241
Tabel 5.44	Penyimpangan debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	246

Tabel 5.45	Penyimpangan waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	247
Tabel 5.46	Penyimpangan waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetik 8 DAS	247
Tabel 5.47	Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) kurva hidrograf satuan sintetik 8 DAS	250
Tabel 5.48	Parameter optimasi dari model HSS	252
Tabel 5.49	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Snyder	253
Tabel 5.50	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Nakayasu	254
Tabel 5.51	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS SCS	255
Tabel 5.52	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS GAMA I	256
Tabel 5.53	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITS-1	257
Tabel 5.54	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Limantara	258
Tabel 5.55	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITB-1	259
Tabel 5.56	Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITB-2	260
Tabel 5.57	Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter debit puncak (Q_p , m ³ /det) pada 8 DAS	262
Tabel 5.58	Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter waktu puncak (T_p , jam) pada 8 DAS	263
Tabel 5.59	Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter waktu dasar (T_b , jam) pada 8 DAS	264
Tabel 5.60	Perbandingan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) kurva hidrograf satuan sintetik 8 DAS	265

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Lampiran	Nama Lampiran	Halaman
Lampiran A	Topografi DAS, Jaringan Sungai dan Tutupan Lahan	281
Lampiran B	Hidrograf Satuan Terukur	301
Lampiran C	Hidrograf Satuan Sintetik	377
Lampiran D	Biodata Penulis	449

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan Notasi
r	Koefisien waktu konsentrasi pada HSS Nakayasu, faktor bentuk hidrograf yang mempengaruhi kemiringan kurva sisi naik pada HSS ITS-1 dan ITB-2, faktor bentuk hidrograf pada HSS ITB-1 dan konstanta Persamaan Hack.
s	Koefisien variabel prediktor, faktor bentuk hidrograf yang mempengaruhi kemiringan kurva sisi turun pada HSS ITS-1 dan ITB-2.
x	faktor bentuk hidrograf yang mempengaruhi kemiringan kurva sisi turun pada HSS ITS-1
f	3.14
μ	Parameter skala pada Fungsi Gamma
\tilde{S}	Orde sungai yang dibentuk oleh orde i dan j , koefisien bentuk hidrograf pada HSS ITS-2.
h	Orde tertinggi dari ruas sungai
ϵ	Sisa error
i	Orde sungai ke- i
j	Orde sungai ke- j
k	Parameter bentuk pada Fungsi Gamma
n	Faktor bentuk hidrograf pada HSS Snyder dan koefisien kekasaran DAS pada HSS Limantara
r	Koefisien korelasi, koefisien yang menyatakan hubungan kuantitatif antara dua variabel yang diukur pada skala ordinal atau interval
r^2	Koefisien determinasi, koefisien yang menunjukkan seberapa jauh kesalahan dalam memperkirakan besarnya variabel tak bebas (y) yang dapat direduksi menggunakan informasi yang dimiliki variabel bebas (x)
x	Variabel prediktor
y	Variabel respon
exp	<i>exponential</i>
A	Luas DAS, luas daerah yang dibatasi oleh garis pembatas DAS dengan acuan titik kontrol, km^2
B_S	<i>Basin shape</i>
ABG	Alpha, Beta dan Gamma
$AWLR$	<i>Automatic Water Level Recorder</i>
B	Lebar DAS, km
C_1	Koefisien waktu puncak pada HSS ITS-2
C_2	Koefisien waktu dasar pada HSS ITS-2

Notasi	Keterangan Notasi
C_3	Faktor bentuk hidrograf pada HSS ITS-2
C_p	Koefisien waktu puncak pada HSS Snyder, HSS ITB-1 dan ITB-2
C_t	Koefisien tampungan pada HSS Snyder, koefisien waktu puncak pada HSS ITB-1 dan ITB-2
C_R	<i>Circularity ratio</i>
D	Kerapatan jaringan sungai (<i>drainage density</i>), rasio jumlah panjang seluruh ruas sungai (km) terhadap luas DAS (km ²), durasi hujan
DAS	Daerah aliran sungai, daerah yang dibatasi oleh punggung medan (perbukitan) diukur dari titik kontrol
D_f	Dimensi Fraktal, perbandingan logaritmik rasio percabangan sungai (RB) dengan logaritmik rasio panjang sungai (RL)
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
E	Angka Koefisien Efisiensi Model Nash-Sutcliffe
E_R	<i>Elongation ratio</i>
F	Frekuensi sungai, merupakan perbandingan antara jumlah ruas sungai (N) dengan luas DAS (A)
F_B	Faktor bentuk DAS, rasio antara luas DAS (A) dengan kuadrat panjang DAS (LB)
GUH	<i>Geomorphological Unit Hydrograph</i>
HS	Hidrograf Satuan
HSS	Hidrograf Satuan Sintetik
JN	Jumlah pertemuan sungai (<i>number of junction</i>), jumlah seluruh pertemuan sungai di dalam DAS
K	Koefisien tampungan (<i>storage coefficient</i>), koefisien yang menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsinya sebagai tampungan air
L	Panjang sungai utama dari hulu sampai di titik kontrol, km
L_B	Panjang DAS, km
L_c	Panjang sungai diukur dari titik berat DAS sampai di kontrol, km
N	Jumlah ruas sungai pada suatu orde dan waktu sesudah puncak hidrograf sampai berakhirnya aliran dasar (hari)
PDF	<i>Probability Density Function</i>
Q	Debit aliran, m ³ /det
Q_a	Debit pada sisi naik hidrograf, m ³ /det
Q_{d1}	Debit sisi resesi 1 yang dihitung dari $t_p < t < (t_p + T_{0.3})$, m ³ /det
Q_{d2}	Debit sisi resesi 2 yang dihitung dari $(t_p + T_{0.3}) < t < (t_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3})$, m ³ /det
Q_{d3}	Debit sisi resesi 3 yang dihitung dari $t > (t_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$, m ³ /det

Notasi	Keterangan Notasi
Q_p	Debit maksimum atau debit pada puncak hidrograf (<i>peak discharge</i>), m^3/det
Q_t	Debit pada sisi turun hidrograf, m^3/det
R_o	hujan satuan (mm)
R_A	Rasio perbandingan antara luas rata-rata sub DAS pada orde sungai yang lebih rendah (ω) dengan luas rata-rata sub DAS pada orde sungai yang lebih tinggi ($\omega + 1$)
R_B	Rasio perbandingan antara jumlah ruas sungai pada orde yang lebih rendah (ω) dengan jumlah ruas sungai pada orde yang lebih tinggi ($\omega + 1$)
R_L	Rasio perbandingan antara panjang rata-rata sungai pada orde yang lebih rendah (ω) dengan panjang rata-rata sungai pada orde yang lebih tinggi ($\omega + 1$)
RUA	Luas relatif DAS sebelah hulu, (tidak berdimensi)
S	Kemiringan sungai utama, perbandingan antara selisih elevasi titik hulu dan titik <i>outlet</i> dengan panjang sungai utama
SF	Faktor sumber (<i>source factor</i>), jumlah panjang semua sungai tingkat 1 dibandingkan dengan panjang sungai semua tingkat
SN	Frekuensi sumber (<i>source frequency</i>), jumlah pangsa sungai (segmen) tingkat 1 dibandingkan dengan jumlah seluruh pangsa sungai
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SCS	<i>Soil Conversion Service</i>
SIM	Faktor simetri (<i>symmetri factor</i>), hasil kali faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA)
SUH	<i>Synthetic Unit hydrograph</i>
$SRTM$	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
$H2U$	<i>Hydrogramme Unitaire Universel</i>
T	Waktu (jam)
$T_{0.3}$	Waktu terjadinya 30% penurunan puncak hidrograf, jam
T_b	Waktu dasar merupakan waktu yang diukur dari titik mulai terjadinya sisi naik hidrograf sampai titik berhentinya pengaruh limpasan langsung pada sisi resesi, jam
T_l	<i>Time lag</i> , jam
T_p	Waktu mulainya sisi naik (<i>rising limb</i>) sampai tercapainya debit puncak hidrograf, jam
WF	Faktor lebar (<i>width factor</i>), perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0.75 panjang sungai dari stasiun hidrometri dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0.25 panjang sungai, tidak berdimensi

Notasi	Keterangan Notasi
<i>WL</i>	Lebar DAS yang diukur dititik sungai yang berjarak 0.25 panjang sungai dari stasiun hidrometri, (km)
<i>WU</i>	Lebar DAS yang diukur dititik sungai yang berjarak 0.75 panjang sungai dari stasiun hidrometri, (km)
<i>W₅₀</i>	Lebar kurva hidrograf pada 0.50 <i>QP</i>
<i>W₇₅</i>	Lebar kurva hidrograf pada 0.75 <i>QP</i>

BAB 1

PENDAHULUAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam rangka perencanaan (*planning*), pengembangan (*development*), perancangan (*design*) dan pengelolaan (*management*) sumber daya air khususnya perencanaan bangunan-bangunan sumber daya air (*hydraulic structure*) seperti bendung, waduk, saluran drainase, tanggul dan bangunan air lainnya, analisis hidrologi memegang peran yang sangat penting terutama dalam perkiraan dan penetapan debit banjir rancangan (*design flood*) terkait dengan penentuan ukuran, kapasitas dan umur rencana bangunan sumber daya air yang akan dibangun (Salami et al., 2009; Salajegheh et al., 2010; Sule et al., 2013; Graler et al., 2013). Analisis hidrologi yang dimaksud adalah proses pengalihragaman (*transformation*) hujan yang jatuh di permukaan DAS menjadi aliran (debit) pada suatu titik *outlet* di mana bangunan hidraulik tersebut akan di bangun. Informasi mengenai debit rancangan ini sangat penting terkait dengan dimensi bangunan yang akan dibangun yang berimplikasi pada tingkat keandalan bangunan, biaya pembangunan (*construction cost*) dan tingkat kerugian yang ditimbulkan apabila bangunan mengalami kegagalan (*failure*) akibat debit yang digunakan sebagai patokan perancangan terlampaui (Sri Harto, 2000).

Proses pengalihragaman hujan menjadi debit merupakan fenomena yang sangat kompleks, sehingga menjadi masalah yang yang tak pernah terselesaikan oleh para peneliti dan ahli hidrologi terutama dalam penyusunan model. Kompleksitas permasalahan berkaitan dengan banyaknya faktor yang berperan dalam menentukan karakteristik aliran sebagai hasil transformasi hujan seperti faktor hujan itu sendiri sebagai masukan dan sistem DAS sebagai media transformasi. Faktor hujan meliputi arah pergerakan hujan (*storm movement*), intensitas hujan (*rainfall intensity*), durasi hujan (*rainfall duration*) dan sebaran hujan (*rainfall distribution*), sedangkan faktor DAS meliputi faktor tutupan lahan, karakteristik jaringan pengaliran (*drainage network*) dan morfometri DAS, karakteristik dan susunan lapisan tanah, topografi, dan pengelolaan DAS oleh manusia. Akibat kompleksitas faktor tersebut, tidak semua parameter yang diduga

sebagai bagian dari faktor yang berpengaruh terhadap proses transformasi dapat diakomodasi dalam pemodelan transformasi hujan-aliran.

Pada dasarnya permasalahan ini bisa diatasi apabila tersedia data debit dalam rentang yang panjang (memadai) dengan kualitas data yang baik pada suatu titik (*outlet*) di sungai sehingga dalam menetapkan banjir rancangan tidak perlu melakukan analisis pengalihragaman hujan menjadi debit menggunakan model. Analisis yang dapat dilakukan adalah analisis frekuensi debit menggunakan persamaan distribusi frekuensi seperti Distribusi Normal, Log Normal, Gumbell, Log Pearson III dan beberapa distribusi lainnya (Haan, 1995 dan Triatmodjo, 2008). Namun fakta di lapangan menunjukkan lain, seringkali data debit suatu sungai tidak tersedia sama sekali atau tersedia dengan panjang data yang sangat terbatas (Salami et al., 2009). Hal ini berkaitan dengan ketersediaan jaringan pengukur hidrologi dan hidrometri terutama pengukur debit yang masih terbatas.

Stasiun hidrometri yang berfungsi memantau dan merekam data elevasi muka air sungai selain jumlahnya terbatas, pada umumnya hanya dipasang di tempat-tempat tertentu yang dipandang oleh pengelolanya mempunyai arti yang cukup penting (Sri Harto, 2000) dalam hal ini potensi pengembangan suatu wilayah dari segi sumber daya air. Hal tersebut disebabkan oleh biaya pemasangan dan pengelolaan yang sangat tinggi. Disamping itu pula akibat tingginya tingkat sensitivitas instrumen ini, tidak jarang memberikan hasil yang meragukan bahkan tidak berfungsi sama sekali. Implikasinya adalah rekaman data debit pada tahun-tahun tertentu tidak lengkap atau bahkan tidak ada, sehingga pada saat dibutuhkan untuk analisis hidrologi data tidak tersedia atau tersedia dalam jangka waktu yang sangat pendek. Pada sisi yang lain stasiun hidrometri yang ada hanya dilengkapi dengan seperangkat pencatat tinggi muka air otomatis (*Automatic Water Level Recorder, AWLR*), sehingga untuk mendapatkan data debit diperlukan kalibrasi dari tinggi muka air menjadi debit. Proses kalibrasi ini sebenarnya juga memberikan penyimpangan yang besar karena penampang sungai yang digunakan untuk menetapkan kurva kalibrasi selalu mengalami perubahan setiap saat akibat interaksi antara dinding sungai dengan aliran dalam proses morfodinamik sungai. Konsekuensi dari keterbatasan ini adalah analisis

transformasi hujan menjadi debit merupakan satu-satunya cara yang umum digunakan dalam berbagai keperluan.

Sebagai upaya untuk mengantisipasi hal ini, sebenarnya telah banyak disusun model untuk menganalisis pengalihragaman hujan menjadi debit terkait dengan keperluan perencanaan dan evaluasi bangunan air terutama model berbasis hidrograf satuan sintetik selain model rasional (Rasional Dasar, Weduwen, Haspers dan Melchior) yang cenderung terbatas pemakaiannya pada DAS-DAS kecil. Model hidrograf satuan sintetik (HSS) adalah model transformasi hujan-aliran yang disusun berdasarkan teori hidrograf satuan (hidrograf yang dihasilkan oleh hujan satu satuan akibat hujan merata di DAS dengan durasi tertentu) dengan menggunakan parameter DAS sebagai penyusun model. Gagasan penyusunan dan pemilihan model HSS ini didasari oleh keterbatasan data hidrologi dan hidrometri sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, sehingga hidrograf aliran dipresentasikan oleh karakteristik DAS (Lasidi dkk., 2003). Untuk kasus pemakaian di Indonesia, Model HSS seperti HSS Snyder (1938), Nakayasu (1975), GAMA I (1985) dan beberapa HSS lainnya, telah banyak digunakan baik oleh para peneliti maupun para praktisi rekayasa, karena dianggap lebih representatif mewakili sifat DAS dibandingkan dengan model rasional.

Pada dasarnya model-model HSS tersebut memberikan hasil yang cukup akurat bila diterapkan pada DAS yang digunakan sebagai penyusun parameter model tersebut dan cenderung tidak memberikan hasil yang memuaskan dan menghasilkan penyimpangan yang besar bila diterapkan pada DAS-DAS lain (Sri Harto, 1985). Hal ini berarti bahwa model-model HSS tersebut secara umum terbatas pemakaiannya pada DAS-DAS yang digunakan sebagai penyusun parameter model tersebut. Disamping karena setiap DAS memiliki sifat hidrologisnya sendiri dan bentuk hidrograf satuannya yang khas, proses pengalihragaman (*transformation*) hujan menjadi banjir merupakan proses alam yang sangat kompleks. Selain itu landasan teori hidrograf satuan itu sendiri mengandung kelemahan-kelemahan mendasar seperti sistem DAS dianggap sebagai sistem linier dan tidak berubah terhadap waktu (*linear time invariant*) tidak sepenuhnya benar, sehingga tidak akan dapat diperoleh hidrograf satuan yang tepat sama dengan hidrograf satuan terukur (Sri Harto, 1985).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sri Harto (1985) yang dilakukan pada beberapa DAS di Pulau Jawa, HSS Snyder dan Nakayasu memberikan penyimpangan cukup besar. Demikian juga penelitian serupa yang dilakukan oleh Montarcih (2009), penggunaan model HSS tersebut di Jawa Timur menghasilkan penyimpangan sampai 20.7%. Selanjutnya, pengujian HSS GAMA I pada beberapa DAS di Jawa Timur memberikan ketelitian relatif cukup baik terutama untuk perkiraan debit puncak (Q_p), dimana secara statistik model tersebut memiliki koefisien determinasi (r^2) untuk waktu naik (T_p) = 77.29%, debit puncak (Q_p) = 97.73%, dan waktu dasar (T_b) = 77,70% (Lasidi dkk., 2003). Penyimpangan ini memberikan informasi bahwa metode-metode tersebut cenderung akurat hanya pada DAS-DAS dimana metode atau model tersebut dikembangkan. Sebagai contoh model HSS Nakayasu cenderung cocok pemakaiannya di Jepang dan HSS GAMA I cenderung cocok pemakaiannya di Pulau Jawa. Walaupun Sri Harto (1985) menyatakan bahwa HSS GAMA I dapat digunakan di sembarang DAS yang tidak memiliki data pengukuran debit dan tinggi muka air di Pulau Jawa dengan luas DAS maksimum 3250 km², penggunaan di luar Pulau Jawa dapat juga dilakukan namun dengan sangat hati-hati bila sifat hidrologis DAS nya sama dengan sifat DAS di Pulau Jawa.

Secara hidrologi hal ini dapat dijelaskan bahwa hampir setiap daerah atau DAS memiliki sifat DAS yang berbeda, sehingga merupakan hal yang wajar bila metode tersebut diaplikasikan pada DAS lain akan memberikan penyimpangan-penyimpangan. Selain itu, kondisi hidrologi di setiap daerah adalah khas, sehingga tidak semua cara dan konsep yang ada dapat digunakan untuk memecahkan masalah hidrologi di setiap DAS (Sri Harto, 1985). Namun perlu ditegaskan bahwa dampak atau implikasi dari penyimpangan-penyimpangan tersebut adalah informasi debit terutama debit rancangan yang diberikan cenderung terlalu besar atau terlalu kecil. Informasi debit rancangan yang terlalu besar (*over estimate*) akan menyebabkan volume dan biaya pembangunan menjadi tidak efisien dan sebaliknya informasi debit rancangan yang terlalu kecil (*under estimate*) akan menyebabkan risiko kegagalan bangunan menjadi tinggi (*high risk*). Oleh karenanya diperlukan informasi debit rancangan yang benar-benar

akurat agar dapat mengakomodasi keandalan, biaya dan risiko kegagalan bangunan.

Pendekatan lain dalam pengalihragaman hujan menjadi aliran adalah pemodelan hidrograf satuan sintetik (HSS) berdasarkan karakteristik fraktal Daerah Aliran Sungai (DAS). Karakteristik fraktal DAS merupakan bagian dari parameter morfometri secara khusus berkaitan langsung dengan karakteristik jaringan hidrologi sungai (DAS). Hal yang menarik dicermati dalam implementasi konsep fraktal ini adalah respon hidrologi DAS dapat dipresentasikan dengan sangat baik oleh karakteristik jaringan hidrologi sebagai bentuk sifat fraktal DAS (Irianto, 2003). Pemodelan HSS menggunakan karakteristik fraktal DAS khususnya berdasarkan pemodelan konseptual telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti Rodriguez-Iturbe dan Valdes (1979) memperkenalkan HS GUH (*Geomorphological Unit Hydrograph*) (Himanshu et al., 2013 dan Swain et al., 2015) dan Duchesne and Cudennec (1998) memperkenalkan HSS H2U (*Hydrogramme Unitaire Universel*) (Sumarjo et al., 1999 dan Fleurant et al., 2003). H2U merupakan HS hasil pengembangan dari HS GUH, dimana persamaan ordinat hidrograf satuannya adalah Persamaan Distribusi Gamma (Akshoy, 2000) yang identik dengan persamaan pada Model Konseptual Nash. HS H2U dikembangkan menggunakan *teori probability density function* (PDF) untuk menentukan hidrograf satuan suatu DAS (Irianto, 2003). Kesulitan dari aplikasi teori PDF ini adalah penentuan batas-batas isokron pada DAS yang digunakan untuk membuat kurva hubungan antara kerapatan jaringan sungai (PDF) dengan jarak garis isokron terhadap *outlet* DAS, sampai saat ini penetapannya sangat subyektif.

Sulawesi Tengah sebagai bagian wilayah Indonesia di luar Pulau Jawa, sampai saat ini belum memiliki model yang dapat digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air yang dibangun berdasarkan karakteristik hidrologi dan DAS setempat. Selama ini model yang banyak digunakan adalah HSS Nakayasu dan GAMA I. Hasil pengujian kedua model hidrograf satuan sintetik tersebut terhadap dua DAS terukur di Sulawesi Tengah menunjukkan kinerja model yang relatif rendah. HSS Nakayasu yang diuji di DAS Bangga memperlihatkan penyimpangan yang cukup besar dengan nilai masing-masing

untuk $T_p = 26\%$ dan $Q_p = 22.40\%$ (Sutapa, 2007). Demikian juga HSS GAMA I yang diuji di DAS Kodina memberikan penyimpangan sebesar 23.52%, untuk parameter T_p , 15.05% untuk parameter Q_p dan 8.84% untuk parameter T_b (Vera, 2012). Hasil studi pendahuluan (Tunas dkk, 2015a) untuk menguji kinerja 3 buah Model HSS pada 2 DAS di Sulawesi Tengah menunjukkan keserupaan dengan penyimpangan rata-rata untuk parameter Q_p yakni 27.85% (HSS Snyder), 45.44% (HSS Nakayasu) dan 13.30% (HSS GAMA I).

Kinerja ketiga model juga diukur dengan Koefisien Efisiensi Nash–Sutcliffe (E) rata-rata pada dua DAS tersebut, dimana model yang memberikan kinerja terbaik adalah HSS Snyder dengan angka koefisien $E=0.75$, berikutnya adalah HSS Nakayasu dengan angka koefisien $E=0.56$, dan HSS GAMA I memberikan kinerja terendah dengan angka koefisien $E=0.44$. Namun secara keseluruhan, ketiga model tersebut masih menghasilkan penyimpangan diatas 10% sebagaimana yang disyaratkan oleh Subramanya (1995) untuk mengukur kinerja model. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian-pemakaian HSS terutama Snyder, HSS Nakayasu dan GAMA I perlu dievaluasi penggunaannya untuk tujuan-tujuan perencanaan dan pengelolaan SDA.

Terkait dengan keterbatasan model-model HSS yang ada akibat penyimpangannya dan peluang pengembangannya sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, penelitian ini akan menjadi penting mengingat untuk di daerah penelitian dalam hal ini Sulawesi Tengah, belum memiliki model yang sesuai dengan karakteristik DAS yang ada. Selain itu, mengingat keterbatasan pemakaian HSS yang ada hanya cocok diterapkan pada wilayah DAS yang digunakan sebagai penyusun parameternya, maka akan menyebabkan kesulitan memperkirakan hidrograf banjir pada DAS-DAS yang belum ada model transformasi hujan-debitnya seperti pada daerah yang akan diteliti, yang memiliki sifat yang sangat khas dan berbeda dengan DAS-DAS di Pulau Jawa. Secara umum karakteristik DAS-DAS di Sulawesi Tengah memiliki topografi relatif terjal dan didominasi oleh sungai-sungai yang relatif pendek. Lebih lanjut penelitian ini menitikberatkan pada: penyusunan model dengan mengintroduksi beberapa parameter berdasarkan kombinasi karakteristik fraktal dan morfometri DAS utama, dengan melibatkan jumlah DAS terukur yang memadai sebagai obyek

penyusun parameter hidrograf sehingga diharapkan dapat menghasilkan model dengan kinerja yang baik

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama dari penelitian ini adalah bagaimana bentuk persamaan dan kinerja model HSS yang disusun (dikembangkan) dengan mengakomodasi parameter berdasarkan karakteristik fraktal DAS yang dikombinasikan dengan parameter morfometri utama DAS di daerah penelitian. Permasalahan ini diturunkan dari *gap analysis* pada Gambar 1.1.

KONDISI SAAT INI	KONDISI IDEAL
1). Akibat keterbatasan data hujan jam-jaman, distribusi hujan sebagai <i>input</i> HSS untuk perkiraan banjir di daerah studi (Sulawesi Tengah) menggunakan pola distribusi hujan hipotetik.	1). <i>Input</i> HSS menggunakan distribusi hujan berdasarkan pola distribusi hujan dominan di daerah studi
2). Model-model HSS yang umum digunakan di Indonesia seperti HSS Snyder, Nakayasu, GAMA I dan lainnya memiliki kinerja yang relatif rendah pada DAS-DAS di Sulawesi Tengah	2). Tersedia model HSS dengan kinerja yang baik untuk DAS-DAS di Sulawesi Tengah dengan parameter yang representatif dengan cara menyusun model HSS dengan memperhitungkan (menggunakan) parameter fraktal (rasio percabangan sungai- R_B , rasio panjang sungai- R_L dan rasio luas DAS- R_A)

Gambar 1.1 *Gap Analysis*

Lebih lanjut permasalahan penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut ini:

- Bagaimana karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian?
- Bagaimana sifat dasar hidrograf satuan terukur DAS di daerah penelitian?
- Bagaimana bentuk dan kinerja (*good fit*) model HSS yang disusun (dikembangkan) berdasarkan kombinasi parameter fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian?
- Bagaimana deskripsi perbandingan kinerja dan parameter optimal dari beberapa model HSS yang diuji?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Terkait dengan judul dan latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut ini :

1. Mendeskripsikan karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian
2. Mendeskripsikan sifat dasar hidrograf satuan terukur DAS di daerah penelitian
3. Mendapatkan model HSS dengan kinerja terbaik (*good fit*) yang disusun berdasarkan kombinasi parameter fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian
4. Membandingkan kinerja model HSS yang disusun dengan model HSS lainnya dan meningkatkan kinerja model HSS melalui optimasi parameter (kalibrasi).

Lebih lanjut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang sebesar-besarnya terhadap dua hal yakni kepada pengembangan ilmu dan kebijakan pengelolaan DAS. Kontribusi dan manfaat penelitian ini di antaranya adalah :

1. Tersedianya data teranalisis mengenai karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian.
2. Tersedianya data teranalisis mengenai sifat dasar hidrograf banjir pada DAS-DAS terpilih sehingga dapat digunakan sebagai pedoman bagi pemerintah daerah untuk menetapkan kebijakan dalam rangka konservasi DAS dan pengendalian banjir.
3. Tersedianya model transformasi hujan-aliran dalam bentuk hidrograf satuan sintetik dengan kinerja terbaik untuk diterapkan di daerah penelitian.
4. Tersedianya deskripsi kinerja dan parameter optimal dari beberapa model HSS yang dianalisis pada DAS yang diuji.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini secara terbatas dilakukan pada DAS-DAS yang memiliki data terukur terutama data debit jam-jaman (AWLR). Parameter yang akan digunakan dalam penyusunan model, meliputi parameter morfometri DAS khususnya yang berkaitan dengan karakteristik fraktal yang diperkirakan berpengaruh signifikan terhadap pembentukan hidrograf aliran di *outlet* pengukuran.

1.5 Keaslian Penelitian (Kebaharuan Penelitian) dan *State of The Art*

Penyusunan model hidrograf satuan sintetis telah banyak dilakukan baik di luar negeri maupun di Indonesia. Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya bahwa HSS adalah hidrograf satuan yang umumnya dibentuk berdasarkan karakteristik DAS. Berdasarkan hubungan karakteristik DAS dan parameter hidrograf satuan, memungkinkan dikembangkan sebuah hidrograf satuan untuk DAS yang bersangkutan. Namun demikian, Chow et al., (1988) mengelompokkan HSS menjadi 3 macam, yaitu: HSS disusun murni berdasarkan karakteristik DAS, seperti HSS Snyder, HSS Nakayasu dan HSS GAMA I, HSS berdasarkan HS tak berdimensi, seperti Hidrograf Satuan SCS dan HSS berdasarkan model konseptual tampungan DAS, seperti Hidrograf Satuan Clark, Nash dan GUH

Berdasarkan pengelompokan tersebut, penelitian ini secara khusus berfokus pada pengembangan hidrograf satuan sintetis murni hanya didasarkan pada karakteristik DAS dalam hal ini lebih spesifik parameter morfometri yang berkaitan dengan sifat fraktal DAS. Sebagai referensi, berikut disajikan beberapa model hidrograf satuan sintetis yang telah disusun berdasarkan karakteristik DAS dan sebagian besar diantaranya telah banyak digunakan khususnya untuk perkiraan debit banjir di berbagai DAS di Indonesia (Tabel 1.1), dan posisi (kedudukan) penelitian yang akan dilakukan (Tabel 1.2 dan Gambar 1.2).

Sebagaimana terlihat pada Tabel 1.1 dan 1.2, pemodelan HSS umumnya lebih banyak menggunakan parameter morfometri utama DAS seperti luas DAS (A), panjang sungai utama (L) dan kemiringan sungai rata-rata (S). Penggunaan parameter morfometri yang lebih beragam terdapat dalam HSS GAMA I yang disusun oleh Sri Harto (1985). HSS GAMA I termasuk model HSS yang mengakomodasi parameter morfometri DAS sangat lengkap, bahkan 3 parameter fraktal telah terakomodasi seperti faktor sumber (SF), frekuensi sumber (SN) dan kerapatan jaringan sungai (D). Namun parameter fraktal yang digunakan dalam HSS GAMA I tidak menggambarkan secara menyeluruh tentang sifat fraktal DAS, dimana hanya merupakan perbandingan jumlah ruas dan panjang sungai tingkat 1 terhadap jumlah ruas dan panjang sungai semua tingkat.

Tabel 1.1 Deskripsi Model Hidrograf Satuan Sintetik berdasarkan karakteristik DAS dan penggunaannya di Indonesia

Nama dan Penyusun Model HSS	Sampel Penelitian	Parameter Masukan (<i>input</i>)	Parameter Model HSS yang dihasilkan	Keterangan
HSS Snyder oleh Snyder (1938)	DAS di AS (berukuran 30 km ² –30000 km ²) dengan karakteristik beragam	Luas DAS (<i>A</i>), Panjang sungai utama (<i>L</i>), Panjang sungai dari titik terdekat titik berat DAS ke <i>outlet</i> (<i>L_c</i>), Koefisien tampungan DAS (<i>C_t</i>)	Waktu puncak (<i>T_p</i>), Debit puncak (<i>Q_p</i>), Waktu dasar (<i>T_b</i>), Lebar kurva hidrograf pada 0.50 <i>Q_p</i> (<i>W₅₀</i>) dan Lebar kurva hidrograf pada 0.75 <i>Q_p</i> (<i>W₇₅</i>)	<ul style="list-style-type: none"> – Perlu penyesuaian parameter untuk meningkatkan kinerja model bila digunakan di Indonesia terutama di Jawa (Soemarto, 1995) – Studi pendahuluan pada 2 DAS di Sulawesi Tengah memberikan penyimpangan rata-rata $Q_p=27.85\%$ – Tidak mengakomodasi parameter fraktal DAS
HSS Nakayasu oleh Nakayasu (1945)	DAS-DAS di Jepang dengan karakteristik beragam	Luas DAS (<i>A</i>) dan Panjang sungai utama (<i>L</i>)	Waktu puncak (<i>T_p</i>), Debit Puncak (<i>Q_p</i>), Debit sisi naik (<i>Q_a</i>), Debit sisi resesi 1 (<i>Q_{d1}</i>), Debit sisi resesi 2 (<i>Q_{d2}</i>) Debit sisi resesi 3 (<i>Q_{d3}</i>), Waktu resesi (<i>T₀₃</i> , 1.5 <i>T₀₃</i> dan 2 <i>T₀₃</i>) <i>T₀₃</i> =waktu terjadinya 30% penurunan puncak hidrograf	<ul style="list-style-type: none"> – Perlu penyesuaian parameter untuk meningkatkan kinerja model bila digunakan di Indonesia terutama di Jawa (Hoesein dan Montarcih, 1993 dalam Montarcih, 2009) – Penelitian oleh Montarcih (2009) pada DAS di Jawa Timur memberikan penyimpangan $Q_p= 20.7\%$ – Studi pendahuluan pada 2 DAS di Sulawesi Tengah memberikan penyimpangan rata-rata

Lanjutan Tabel 1.1 Deskripsi Model Hidrograf Satuan Sintetik berdasarkan karakteristik DAS dan penggunaannya di Indonesia

Nama dan Penyusun Model HSS	Sampel Penelitian	Parameter Masukan (<i>input</i>)	Parameter Model HSS yang dihasilkan	Keterangan
				$Q_p=45.44\%$ – Penelitian oleh Sutapa (2005) pada 1 DAS di Sulawesi Tengah memberikan penyimpangan $Q_p= 45.44\%$ – Tidak mengakomodasi parameter fraktal DAS
HSS GAMA I oleh Sri Harto (1985)	DAS-DAS di Pulau Jawa dengan karakteristik beragam	Luas DAS (<i>A</i>), Panjang sungai utama (<i>L</i>), Faktor sumber (<i>SF</i>), Faktor simetri (<i>SIM</i>), Jumlah pertemuan sungai (<i>JN</i>), Kemiringan sungai rata-rata (<i>S</i>), Frekuensi sumber (<i>SN</i>), Faktor luas DAS sebelah hulu (<i>RUA</i>), Koefisien tampungan (<i>K</i>) dan Kerapatan jaringan kuras (<i>D</i>).	Waktu naik (<i>TR</i>), Debit puncak (Q_p), Waktu dasar (T_b), Debit sisi resesi (Q_t)	– Perlu penyesuaian parameter untuk penggunaan di Jawa Timur meskipun kinerja model relatif baik (Lasidi, dkk., 2003). – Studi pendahuluan pada 2 DAS di Sulawesi Tengah memberikan penyimpangan rata-rata $Q_p=13.30\%$ – Penelitian oleh Vera (2005) pada 1 DAS di Sulawesi Tengah memberikan penyimpangan $Q_p= 15.05\%$ – Mengakomodasi parameter fraktal DAS (<i>SF</i> , <i>SN</i> dan <i>D</i>) tetapi hanya berdasarkan orde sungai terkecil

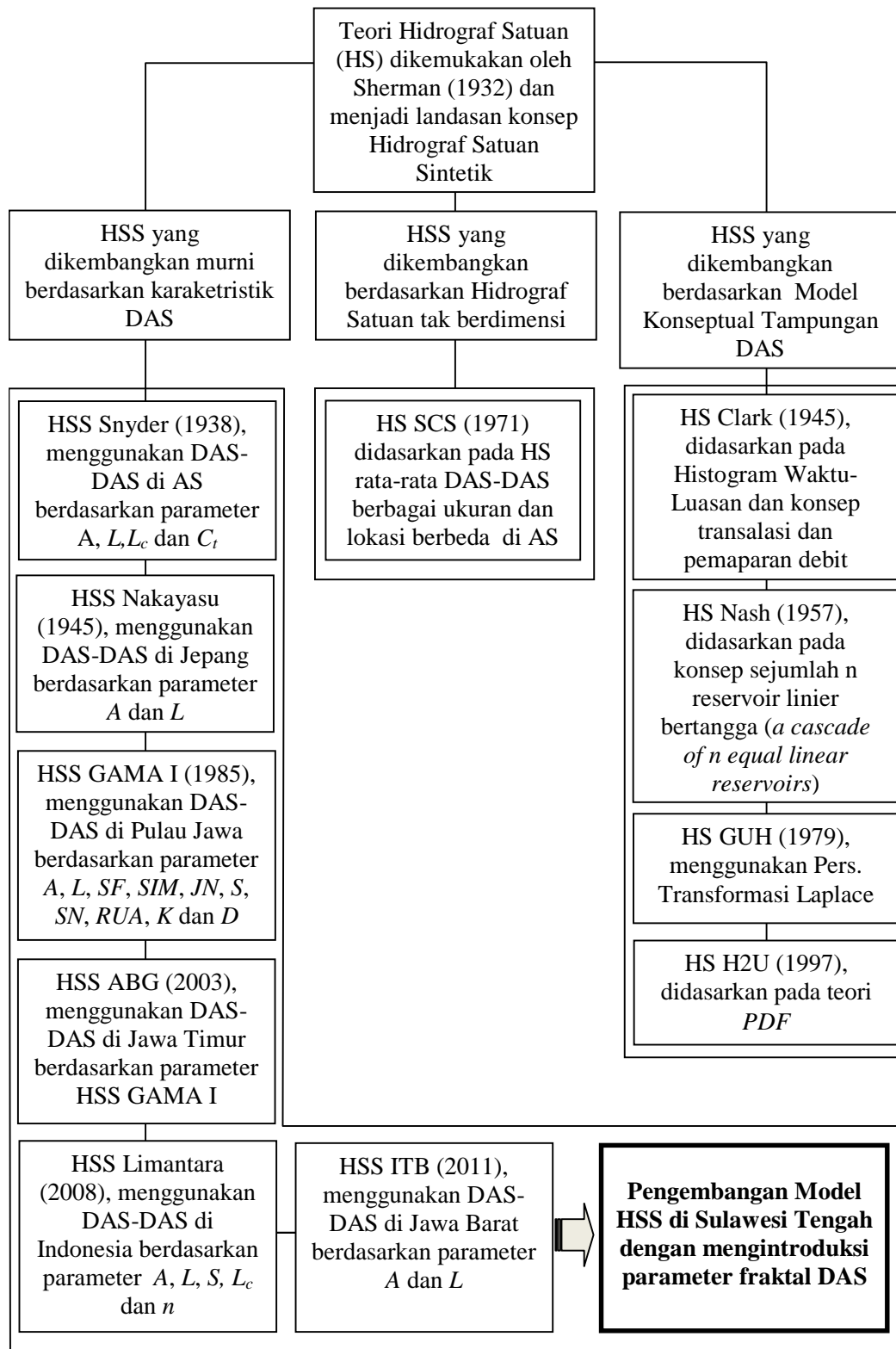
Lanjutan Tabel 1.1 Deskripsi Model Hidrograf Satuan Sintetik berdasarkan karakteristik DAS dan penggunaannya di Indonesia

Nama dan Penyusun Model HSS	Sampel Penelitian	Parameter Masukan (<i>input</i>)	Parameter Model HSS yang dihasilkan	Keterangan
HSS ABG oleh Lasidi (2003)	7 DAS di Jawa Timur (Data DAS yang digunakan oleh Sri Harto, 1985)	Relatif sama dengan parameter yang digunakan dalam HSS GAMA I	Waktu puncak (T_p), Debit puncak (Q_p), Waktu dasar (T_b), dan Pers. lengkung hidrograf kurva tunggal, $q(t)$	<ul style="list-style-type: none"> - Memperbaiki kinerja HSS GAMA I untuk penggunaan pada DAS-DAS di Jawa Timur - Belum ada referensi yang menyatakan tentang penggunaan untuk perkiraan debit dan evaluasi kinerja pada DAS-DAS lain
HSS Limantara oleh Montarcih (2009)	DAS-DAS di Indonesia (Jawa, Kalimantan, Bali dan Lombok), $A > 5000 \text{ km}^2$ dengan karakteristik beragam	Luas DAS (A), Panjang sungai utama (L), Panjang sungai dari titik berat DAS sampai di <i>outlet</i> (L_c), Kemiringan sungai rata-rata (S) dan koefisien kekasaran DAS (n)	Waktu puncak (T_p), Debit Puncak (Q_p), Pers. debit sisi naik dan debit sisi resesi	<ul style="list-style-type: none"> - Belum ada referensi menyatakan penggunaan untuk perkiraan debit dan evaluasi kinerja pada DAS-DAS lain - Tidak mengakomodasi parameter fraktal DAS dan belum banyak digunakan
HSS ITB oleh Natakusumah (2011)	DAS-DAS di Jawa Barat	Luas DAS (A) dan Panjang sungai (L)	Waktu puncak (T_p), Debit Puncak (Q_p), Waktu dasar (T_b), dan Pers. lengkung hidrograf kurva tunggal (ITB-1), Pers. debit sisi naik dan debit sisi resesi (ITB-2)	<ul style="list-style-type: none"> - Belum banyak referensi menyatakan penggunaan untuk perkiraan debit dan evaluasi kinerja pada DAS-DAS lain - Tidak mengakomodasi parameter fraktal DAS dan belum banyak digunakan

Sumber : Hasil *review* dari beberapa referensi

Tabel 1.2 Perbandingan parameter beberapa model HSS dan Model HSS yang akan dikembangkan (disusun)

No.	Hidrograf Satuan Sintetik	Parameter Morfometri DAS																DAS Penyusun Model	
		<i>A</i>	<i>L</i>	<i>S</i>	<i>D</i>	<i>L_c</i>	<i>SF</i>	<i>SN</i>	<i>SIM</i>	<i>RUA</i>	<i>JN</i>	<i>WF</i>	<i>F_b</i>	<i>n</i>	<i>K</i>	<i>R_B</i>	<i>R_L</i>		<i>R_A</i>
1	HSS Snyder (Snyder, 1938)	*	*			*													DAS di AS
2	HSS Nakayasu (Snyder, 1938)	*	*																DAS di Jepang
3	HSS GAMA I (Sri Harto (1985)	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*			*				DAS di Pulau Jawa
5	HSS ABG (Lasidi, 2003)	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*							DAS di Jawa Timur
6	HSS Limantara (Montarjih, 2009)	*	*	*		*													DAS di Pulau Jawa, Kalimantan Timur, Bali dan Lombok
7	HSS ITB (Natakusumah, 2011)	*	*																DAS di Jawa Barat
8	HSS yang akan dikembangkan	*	*	*	*								*			*	*	*	DAS-DAS di Sulawesi Tengah



Gambar 1.2 Penelitian HSS terdahulu dan posisi penelitian yang akan dilakukan (Sumber: Hasil *review* dari beberapa referensi)

Mencermati parameter yang telah digunakan pada model-model HSS tersebut, penelitian ini disamping menggunakan parameter morfometri utama sebagaimana digunakan pada model-model tersebut, juga menggunakan parameter fraktal secara lengkap yang menggambarkan karakteristik jaringan hidrologi DAS dalam hal ini rasio percabangan sungai (R_B), rasio panjang sungai (R_L) dan rasio luas DAS (R_A). Penggunaan parameter ini, sepengetahuan penulis belum ada yang melakukannya terutama untuk DAS-DAS di Indonesia. Oleh karena itu penelitian ini menjadi sangat penting dan memiliki kekhususan dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya di Indonesia.

Secara eksplisit, sampel, parameter dan sasaran penggunaan model yang akan disusun dalam penelitian ini sebagaimana dituangkan pada Tabel 1.3, berikut ini:

Tabel 1.3 Sampel, parameter dan sasaran penelitian yang akan dilakukan

Sampel Penelitian	Parameter Masukan (<i>input</i>)	Parameter Model HSS yang dihasilkan	Sasaran Penggunaan
DAS–DAS terukur di Sulawesi Tengah (belum ada yang menggunakan untuk penyusunan model HSS)	Parameter fraktal DAS meliputi rasio percabangan sungai (R_B), rasio panjang sungai (R_L), rasio luas DAS (R_A) dan kerapatan jaringan sungai (D) Parameter morfometri lainnya meliputi faktor bentuk DAS (F_b), Luas DAS (A), Kemiringan Sungai (S) dan Panjang Sungai (L)	Waktu puncak (T_p), Debit Puncak (Q_p), Waktu dasar (T_b), Debit sisi naik (Q_n) dan resesi (Q_t)	DAS–DAS yang digunakan sebagai penyusun model dan DAS-DAS di sekitarnya di Sulawesi Tengah

Sebagaimana telah dijabarkan sebelumnya dan terlihat pada Gambar 1.2, Tabel 1.2 dan Tabel 1.3, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) pada dua hal yaitu: persamaan model yang dihasilkan dengan menggunakan parameter fraktal dan morfometri DAS (persamaan dengan kombinasi parameter baru) dan lokasi DAS sebagai penyusun model (Sulawesi Tengah).

Persamaan model yang dihasilkan meliputi persamaan waktu puncak (T_p) sebagai fungsi dari parameter panjang sungai utama (L), rasio panjang sungai (R_L) dan kerapatan jaringan drainase (D) dengan koefisien determinasi (r^2) 99.9%, persamaan waktu dasar (T_b) sebagai fungsi dari luas DAS (A) dan kemiringan sungai utama (S) dengan koefisien determinasi (r^2) 98.7% dan persamaan debit puncak sebagai fungsi dari waktu puncak (T_p) dan luas DAS (A). Kurva (lengkung) hidrograf dinyatakan sebagai persamaan kurva tunggal yang lebih sederhana dan dapat mengatasi kelemahan dan keterbatasan persamaan kurva tunggal HSS lainnya. Persamaan kurva hidrograf ini diturunkan dari Persamaan Distribusi Gamma yang merupakan bagian dari distribusi probabilitas kontinyu 2 parameter (2PGDF). Persamaan yang dihasilkan tersebut dibahas secara lebih mendetail pada Bab 5 (Model Hidrograf Satuan Sintetik) Sub Bab 5.2 (Penyusunan Model Hidrograf Satuan Sintetik).

1.6 Hipotesa

Berdasarkan uraian-uraian sebagaimana dituangkan pada pendahuluan dan dasar teori, dapat dikemukakan hipotesa sebagai berikut ini:

- Kinerja Model Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan (menggunakan) parameter fraktal Daerah Aliran Sungai.
- Kinerja Model HSS tersebut meliputi komponen debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p), waktu dasar (T_b) dan kesesuaian bentuk hidrograf yang akan diukur (dinilai) dengan angka penyimpangan masing-masing komponen (Q_p , T_p dan T_b) dan angka Koefisien Efisiensi Model Nash-Sutcliffe (E).

Hasil analisis menunjukkan bahwa model HSS yang dihasilkan (HSS 2017) memiliki kinerja yang lebih baik dari model HSS lainnya dengan penyimpangan debit puncak rata-rata 11.85%, penyimpangan waktu puncak rata-rata 7.96%, penyimpangan waktu dasar rata-rata 3.18% dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) 0.83. Hasil analisis ini membuktikan hipotesa bahwa kinerja model HSS dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan (menggunakan) parameter fraktal Daerah Aliran Sungai, sebagaimana dibahas lebih rinci pada Bab 5 (Model Hidrograf Satuan Sintetik) Sub Bab 5.5 (Perbandingan Kinerja Model HSS).

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Terhadap Penelitian dan Studi Terdahulu

Penelitian tentang penyusunan Model Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) merupakan penelitian yang telah berlangsung sejak lama sejak dikemukakannya Teori Hidrograf Satuan oleh Sherman pada Tahun 1932. Konsep hidrograf satuan (*unit hydrograph*) untuk memperkirakan hidrograf limpasan langsung pada suatu titik *outlet* di sungai, masih diterima dan digunakan secara luas dalam analisis hidrologi (Sri Harto, 1985 dan Bhunya et al., 2011). Keuntungan utama penggunaan HSS adalah hidrograf satuan secara lengkap dapat ditentukan berdasarkan satu atau dua parameter. Oleh karena itu banyak studi telah dilakukan untuk mengetahui hubungan antara parameter hidrograf, DAS dan karaktersistik hujan dalam rangka pemodelan HSS. HSS dapat diterapkan pada DAS tak terukur berdasarkan model HSS yang disusun pada DAS-DAS terukur disekitarnya, sepanjang parameter DAS-DAS tak terukur memiliki kemiripan secara morfometris dan hidrologis dengan parameter penyusun model HSS (Wilkerson, 2009).

HSS (*synthetic unit hydrograph*, SUH) dikembangkan berdasarkan teori hidrograf satuan berdasarkan parameter DAS terukur untuk dapat digunakan pada DAS-DAS tak terukur (Jena et al., 2006, dalam Wilkerson, 2009). Snyder (1938) pertama kali mengembangkan model HSS dan mencoba menghubungkan karaktersitik geomorfologi dengan parameter hidrograf (Jain et al., 2003), menggunakan DAS di Pegunungan Appalachian. Waktu mencapai puncak (*time to peak*, T_p) dihitung berdasarkan panjang DAS, jarak antara titik berat DAS dengan *outlet* DAS dan koefisien regional. Debit puncak (*peak flow rate*, Q_p) dihitung berdasarkan parameter luas DAS (A), waktu mencapai puncak (T_p) dan koefisien tampungan (*storage coefficient*) (Jena et al., 2006, dalam Wilkerson, 2009). Titik-titik ordinat hidrograf lainnya selain Q_p , tidak ditetapkan secara khusus, kecuali pada titik $0.50T_p$ lebar kurva hidrograf W_{50} dan pada titik $0.75 T_p$ lebar kurva hidrograf W_{75} . Bila diterapkan di Indonesia, pemakaian HSS Snyder harus dilakukan penyesuaian parameter-parameter dengan *cara trial and error*

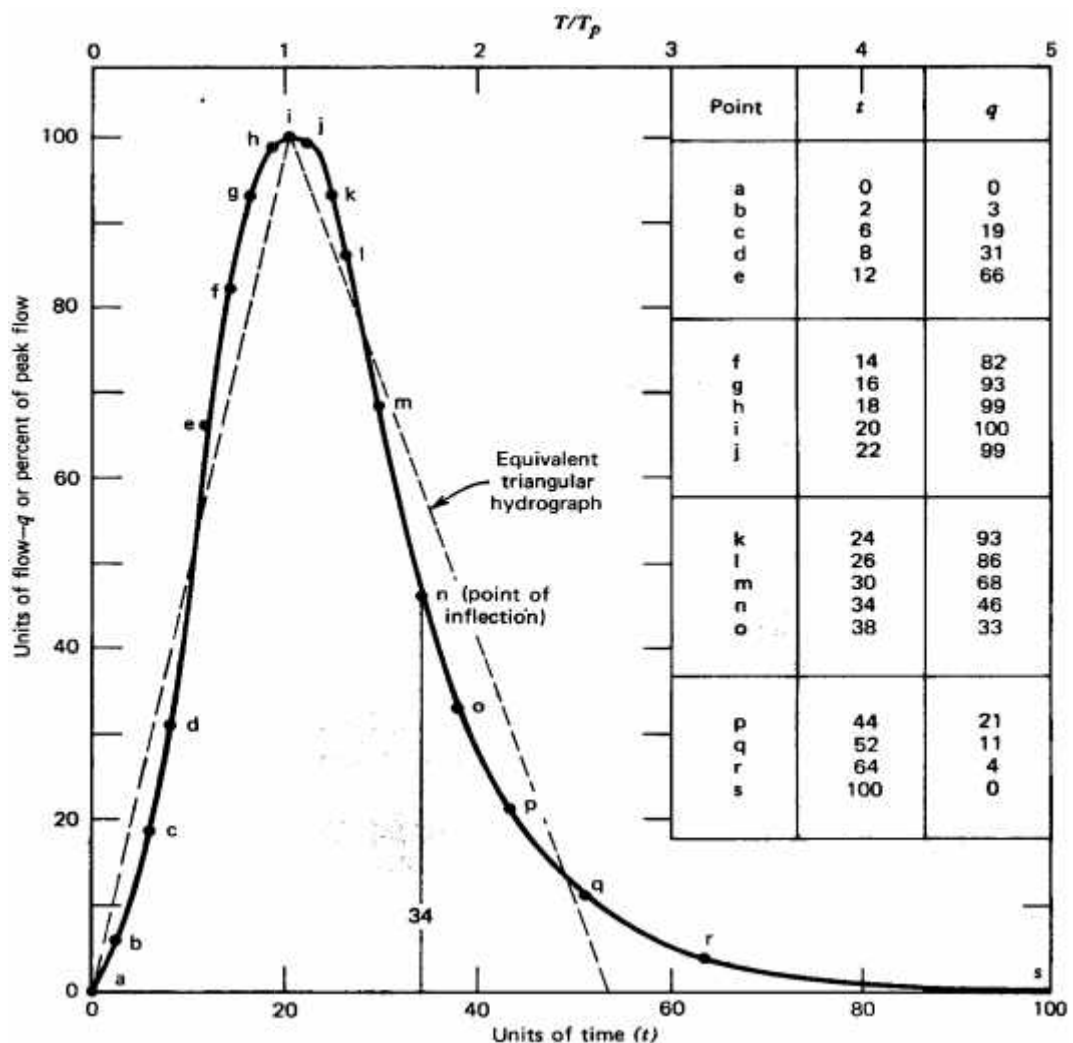
untuk memperkecil penyimpangan model (Soemarto, 1985). Cara ini tentunya tidak mudah karena harus dilakukan secara coba-ulang.

Selanjutnya Nakayasu (1945, dalam Soemarto, 1985) mengembangkan HSS Nakayasu berdasarkan 2 parameter morfometri DAS-DAS di Jepang. Parameter yang digunakan tersebut adalah luas DAS (A) dan panjang sungai utama (L). Metode ini telah digunakan secara luas di Indonesia dengan berbagai keterbatasannya (Sri Harto, 2000) akibat penyimpangan-penyimpangannya. Dalam rangka mengantisipasi keterbatasan tersebut, untuk kasus di Indonesia, pengembangan Hidrograf Satuan Sintetik telah di mulai oleh Sri Harto (1985) dengan HSS GAMA I berdasarkan parameter morfometri DAS-DAS di Pulau Jawa. Parameter yang digunakan relatif sangat lengkap meliputi luas DAS (A), panjang sungai utama (L), faktor sumber (SF), faktor simetri (SIM), jumlah pertemuan sungai (JN), kemiringan sungai rata-rata (S), frekuensi sumber (SN), faktor luas DAS sebelah hulu (RUA) sebagai representasi dari faktor bentuk DAS (F_b), koefisien tampungan (K) dan kerapatan jaringan kuras (D). Model HSS GAMA I memiliki kinerja yang cukup baik untuk DAS-DAS di Pulau Jawa. Namun demikian, oleh Sri Harto sendiri (1985) menyarankan agar model ini digunakan dengan sangat hati-hati yang dapat menimbulkan penyimpangan-penyimpangan, karena model ini dibangun dengan sifat DAS yang beragam. Pada Tahun 2000, Suwignyo mengembangkan HSS pada 9 sungai di Jawa Timur berdasarkan beberapa parameter morfometri DAS. Model yang dihasilkan dibentuk dari masing-masing parameter DAS sebanyak 9 model. Pada tahun 2003, Lasidi (Lasidi dkk., 2003) mengembangkan HSS ABG untuk DAS-DAS di Jawa Timur. Parameter yang digunakan mirip dengan parameter HSS GAMA I yang dikembangkan oleh Sri Harto. Pemakaian-pemakaian model tersebut juga harus dilakukan dengan penyesuaian- penyesuaian parameter (Montarcih, 2009) untuk memperkecil penyimpangannya.

Tahun 2008, Montarcih mengembangkan HSS Limantara berdasarkan parameter morfometri beberapa DAS di Indonesia. Parameter yang digunakan adalah luas DAS (A), panjang sungai utama (L), panjang sungai dari titik berat DAS sampai di *outlet* (L_c), kemiringan sungai rerata (S) dan koefisien kekasaran DAS (n). Untuk DAS-DAS di Jawa Barat, Natakusumah (2011) mengembangkan

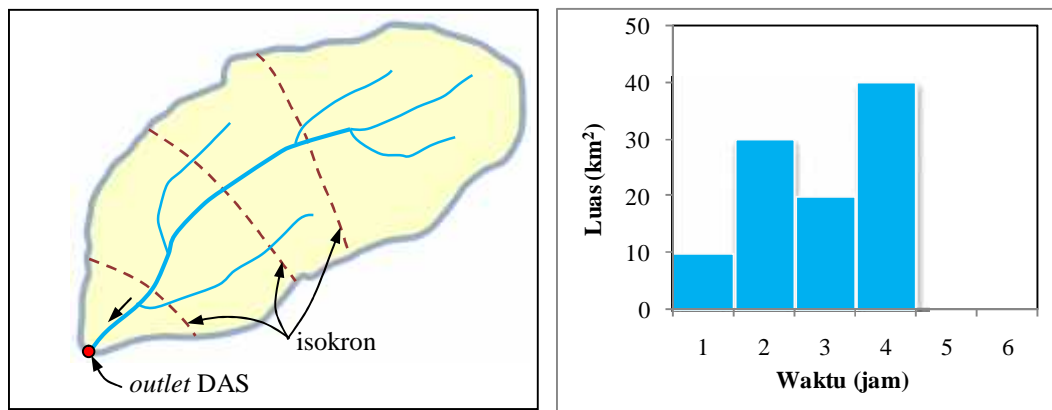
HSS ITB menggunakan 2 parameter yakni luas DAS (A) dan panjang sungai utama (L). Kedua model ini belum banyak digunakan dan diterapkan untuk analisis hidrograf di Pulau Jawa khususnya dan di Indonesia pada umumnya.

Berdasarkan hidrograf satuan tak berdimensi, Tahun 1971 dikembangkan Model HSS SCS (*Soil Conservation Service*) oleh *US Department of Agriculture*, menggunakan DAS beragam ukuran dari berbagai lokasi di AS (Nourani et al., 2009, Khaleghi et, al., 2011 dan Bunya et al., 2011). Model HSS SCS merupakan model hidrograf berpuncak tunggal (*single-peaked*) dan hidrograf tanpa satuan (*dimensionless*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dua parameter utama dari HSS SCS ini adalah waktu puncak (T_p) sebagai fungsi waktu konsentrasi (T_c) dan debit puncak (Q_p) sebagai fungsi luas DAS (A), volume limpasan akibat hujan 1 mm (Q) dan waktu puncak (T_p) (Jain et al., 2003 dan Ragnath, 2006).



Gambar 2.1 Tipikal hidrograf SCS (Ratnayake, 2004)

Berdasarkan model konseptual DAS, Tahun 1945 Clark mengembangkan HSS Clark yang merupakan hidrograf satuan yang digunakan *US Army Corps of Engineers* pada paket Program HEC-1 dan HEC-HMS (USACE, 2000). Metode Clark dikenal sebagai Histogram Waktu-Luasan (*time-area histogram*) seperti pada Gambar 2.2. Cara ini bertujuan memperkirakan bentuk hidrograf satuan akibat hujan merata di seluruh DAS. Pada dasarnya Metode Clark membutuhkan 3 parameter untuk menghitung hidrograf satuan, yakni waktu konsentrasi (T_c), koefisien tampungan (K) dan diagram waktu-luasan. Dua parameter pertama dapat dihitung dengan persamaan-persamaan empiris sedangkan parameter terakhir (diagram waktu-luasan) penentuannya sangat sulit dan sangat subyektif.



a). isokron

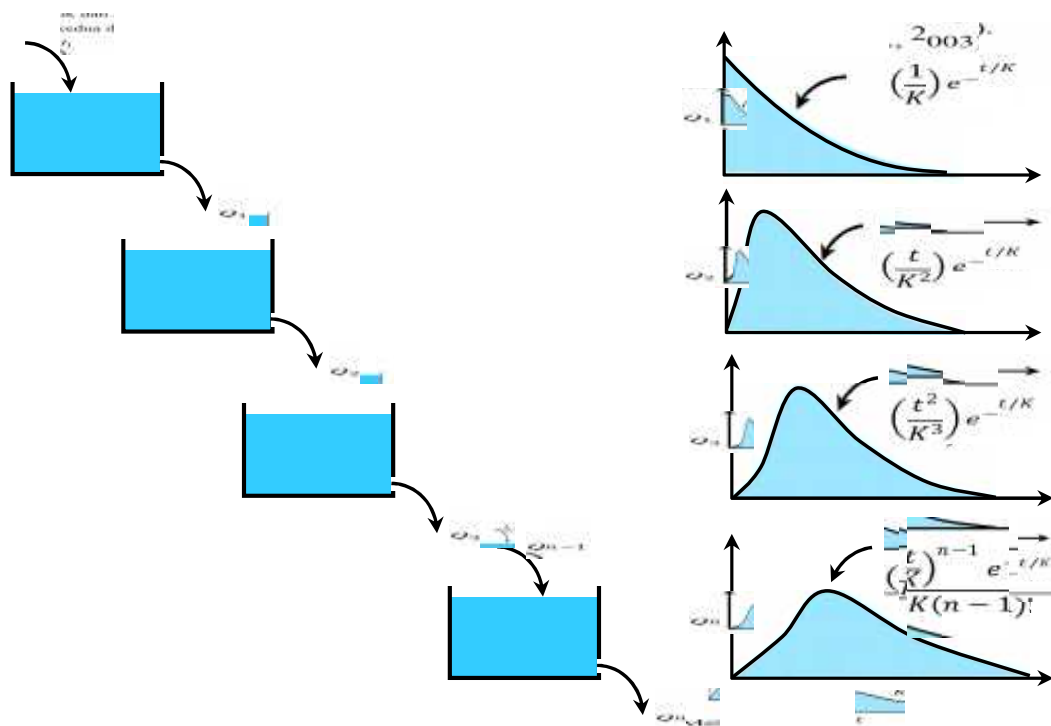
b). histogram waktu luasan

Gambar 2.2 Penetapan isokron dan histogram waktu-luasan (diadaptasi dari Ponce et al., 2014)

Pada dasarnya diagram waktu-luasan, didasarkan pada peta pembagian waktu konsentrasi pada masing-masing isokron DAS (Gambar 2.2a), dimana sub luasan yang paling dekat dengan titik *outlet* memiliki waktu konsentrasi paling pendek dan sama untuk seluruh sub luasan. Isokron adalah suatu garis yang menghubungkan seluruh titik yang mempunyai waktu tempuh yang sama untuk mencapai titik *outlet* DAS. Suatu isokron tidak boleh berpotongan satu dengan lainnya, dan diawali serta berakhir pada garis keliling (batas luar) suatu DAS. Perlakuan yang sama juga berlaku untuk sub-sub luasan pada isokron yang lebih tinggi dengan peningkatan waktu konsentrasi. Selanjutnya hubungan antara luas dan waktu konsentrasi dinyatakan dengan histogram waktu-luasan (Ponce et al., 2014) seperti pada Gambar 2.2b.

Clark (1945, dalam Ponce et al., 2014) menyampaikan beberapa kelemahan dari metodenya yakni: (a) Kesulitan memperkirakan bentuk hidrograf pada sisi resesi antara titik angka resesi maksimum dan titik dimana aliran bawah permukaan mulai mendominasi, (b) Metode tidak dapat diterapkan pada DAS yang sangat luas. Penerapan dapat mengakibatkan terlalu lambat pada sisi naik dan terlalu cepat pada sisi resesi, sehubungan dengan penggunaan faktor tampungan yang sama pada titik yang jauh dan dekat dengan *outlet*. Oleh karena itu Clark tidak merekomendasikan pada DAS besar, (c) Kesulitan dalam membentuk sub-sub DAS dalam bentuk isokron-isokron yang sangat subyektif.

Nash pada Tahun 1957 (Bhunya et al., 2003) mengembangkan Model HSS Nash, juga berdasarkan model konseptual DAS. Model Nash dibentuk berdasarkan konsep sejumlah n reservoir linier bertangga (*a cascade of n equal linear reservoirs*) yang diturunkan dari hidrograf satuan dari DAS-DAS alami (Gambar 2.3). Persamaan yang digunakan pada Model HSS Nash merupakan Fungsi Distribusi Gamma 2 Parameter yakni N dan K , dimana N = parameter bentuk dan K = parameter skala. N dan K dapat dihitung dari teori momen pertama dan kedua dari hidrograf satuan (Subramanya, 1995 dan Bhunya et al., 2003).



Gambar 2.3 Konsep reservoir linier bertangga pada Model HSS Nash (diadaptasi dari Ragunath, 2006)

Tahap selanjutnya dikembangkan konsep hidrograf satuan geomorfologi (*geomorphologic unit hydrograph*, GUH) oleh Rodriquez-Itrube dan Valdes (1979) dan dilanjutkan oleh Gupta et al., (1980) (Sumarjo et al., 1999), dengan mengakomodasi parameter geomorfologi dalam hal ini parameter yang merefleksikan karakteristik fraktal DAS. HS GUH dikembangkan berdasarkan Persamaan Transformasi Laplace (Fleurant et al., 2012), dimana persamaan hidrograf satuan merupakan fungsi dari tampungan (K) dari sejumlah tangki reservoir (konseptual) dan parameter geomorfologi (Fleurant et al., 2012). Persamaan waktu puncak (T_p) dan debit puncak (Q_p) ditetapkan berdasarkan parameter serupa dikombinasikan dengan parameter kecepatan dari debit puncak (V). Kelemahan dari HS GUH adalah sulitnya menetapkan harga K dan V dan tidak ada petunjuk di dalam panduannya tentang bagaimana parameter ini ditetapkan.

Dengan konsep serupa, Duchesne and Cudennec (1998) mengembangkan HS H2U (*Hydrogramme Unitaire Universel*) (Sumarjo et al., 1999 dan Fleurant et al., 2003) menggunakan Persamaan Distribusi Gamma yang identik dengan persamaan pada Model Konseptual Nash. Dua parameter HS H2U yang identik dengan Parameter Gamma adalah orde sungai (n) dan panjang hidraulik rata-rata (\bar{L}). Selanjutnya persamaan Distribusi Gamma tersebut diinterpretasi berdasarkan teori *probability density function* (PDF) terutama untuk menyusun ordinat hidrograf satuan. Mengingat bentuk PDF memiliki kemiripan dengan hidrograf satuan konvensional, selanjutnya banyak studi telah dilakukan untuk memperkirakan parameter hidrograf menggunakan teori PDF (Aron and White, 1982; Ciepielowski, 1987; Croley II, 1980; Dooge, 1959; Gray, 1961; Haktanir and Sezen, 1990; Nash, 1959 dalam Ghorbani et al., 2013 dan Bhattacharjya, 2004). Kesulitan dari aplikasi teori PDF ini sebagaimana telah disampaikan sebelumnya adalah penentuan batas-batas isokron pada DAS yang digunakan untuk membuat kurva hubungan antara kerapatan jaringan sungai (PDF) dengan jarak garis isokron terhadap *outlet* DAS, sampai saat ini penetapannya sangat subyektif.

Kedua model HSS terakhir yang dikembangkan berdasarkan konseptual tampungan DAS, sesungguhnya adalah bentuk pemodelan HSS dengan

pendekatan konsep fraktal DAS. Terkait dengan itu, penggunaan konsep fraktal dalam penyusunan parameter-parameter HSS makin berkembang dengan pesat (Tian et al., 2013) berkaitan dengan jaringan sungai sebagai representasi dari geometri fraktal. Teori fraktal berkembang dari konsep keserupaan bentuk diri (*self similarity*) antara ukuran total sistem (*fraction*) dan ukuran terkecilnya (*fractal*). Aplikasi fraktal dalam pemodelan hidrograf memungkinkan dapat digunakan terutama perkiraan debit puncak (Q_p) dan waktu mencapai puncak (T_p) sebagai representasi dari suatu sistem yang sangat kompleks, dinamis baik spasial maupun temporal (Irianto, 2003 dan Tian et al., 2013).

Beberapa ahli dan peneliti telah melakukan studi tentang fraktal dibidang hidrologi dan hidrolika, diantaranya, telah dimulai oleh Rodriguez-Iturbe et al, (1994) yang secara konsisten melakukan analisis tentang karakteristik fraktal dan multifraktal evolusi jaringan sungai pada sistem DAS, dimana sebelumnya telah dilakukan analisis yang mendukung kajian tersebut (Rodriguez-Iturbe et al., 1994) oleh La Barbera and Rosso (1987, 1989), Torboton et al., (1988), Rodriguez-Iturbe et al., (1992), Rinaldo et al., (1992), Turcotte (1992), Chase (1992), Dietler and Zang (1992), Ouchi and Matsushita (1992), Lavallo et al., (1993), Rinaldo et al., (1993), Ijjasz-Varquez et al., (1993) dan Rigon et al., (1993), dan selanjutnya Maitre and Pinciroli, (1997), menganalisis topik sejenis menggunakan data Satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR).

Berbagai kajian telah dilakukan untuk meneliti hubungan antara hujan, morfometri dan respon DAS sebagaimana disampaikan oleh Sumarjo et al., (1999) seperti Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979), Gupta et al., (1980), Rodriguez-Iturbe and Gonzales-Sanabria (1982). Hasil kajian menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang erat antara respon DAS dengan parameter morfometri khususnya karakteristik fraktal seperti orde sungai (\check{S}), rasio percabangan sungai (R_B) rasio panjang sungai (R_L) dan rasio luas DAS (R_A) (Sumarjo et al., 1999).

Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Duchesne (1998, Sumarjo et al., 1999) dan dimodifikasi oleh Rosso (2009, Khaleghi et al., 2011) untuk Model Nash, bahwa parameter hidrograf dalam hal ini n dan \bar{L} pada model H2U yang serupa dengan parameter N dan K pada Model Nash dimana menunjukkan

parameter bentuk dan skala sebagai representasi dari parameter Q_p , T_p dan T_b , dinyatakan sebagai fungsi dari parameter fraktal DAS. Kedua parameter N dan K dinyatakan sebagai fungsi dari R_A , R_B , R_L dan L . Namun hubungan antara parameter utama hidrograf (Q_p , T_p dan T_b) dengan parameter fraktal DAS (R_A , R_B , R_L) pada persamaan tersebut tidak dinyatakan secara eksplisit, tetapi harus dilihat dalam bentuk hidrograf secara utuh. Namun sesungguhnya oleh Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979, Khaleghi et al., 2011) hubungan antara parameter utama hidrograf dengan karakteristik fraktal DAS memiliki hubungan yang sangat erat dan dinyatakan secara eksplisit, dimana Q_p dinyatakan sebagai fungsi dari R_L , L dan V , T_p sebagai fungsi dari R_A , R_B , R_L , L dan V , dan T_b dinyatakan sebagai fungsi dari Q_p . Menindaklanjuti hubungan parameter yang dikembangkan oleh Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979), Gupta (1980, Khaleghi et al., 2011) memodifikasi persamaan tersebut dengan menyesuaikan konstanta parameter untuk DAS-DAS yang lain.

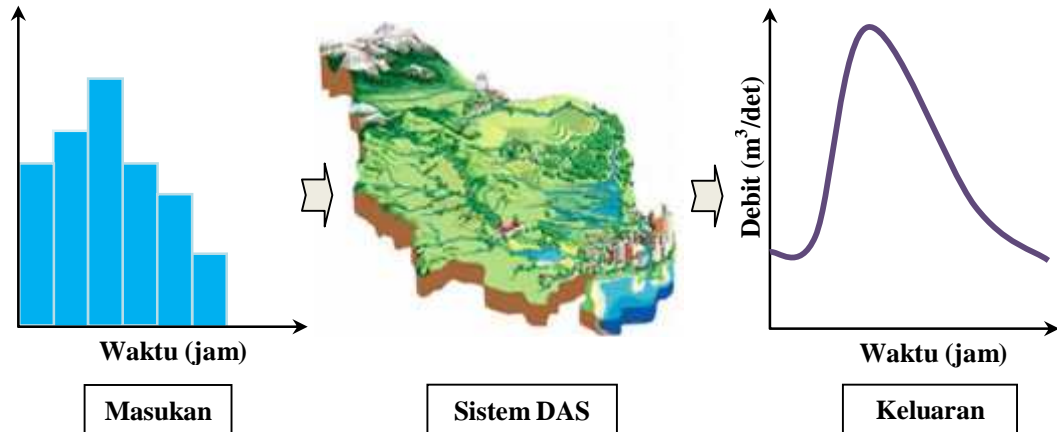
Dari serangkaian penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan model-model HSS yang telah disusun terutama HSS yang disusun berdasarkan karakteristik DAS, belum ada satupun model HSS yang secara eksplisit menyatakan waktu puncak (T_p), debit puncak (Q_p) dan waktu dasar (T_b) fungsi dari kombinasi dari karakteristik fraktal DAS dalam hal ini R_A , R_B dan R_L dengan parameter morfometri utama (A , L , S dan F_b), kecuali HSS GAMA I yang hanya menggunakan parameter ini khusus pada sungai-sungai orde pertama. Umumnya model-model HSS dibangun berdasarkan parameter DAS baik yang disusun di luar negeri maupun yang disusun di Indonesia. Khusus model HSS yang dibangun di Indonesia, sampai saat ini belum ada yang menggunakan parameter-parameter DAS di Sulawesi Tengah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Hidrograf

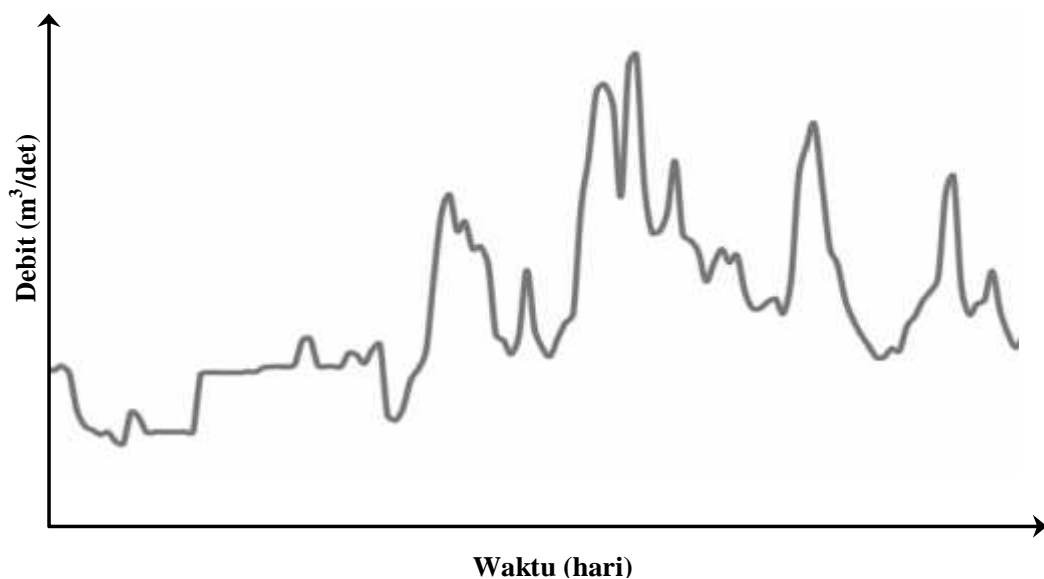
Hidrograf didefinisikan sebagai penyajian grafis hubungan karakteristik antara salah satu unsur aliran dengan waktu dan merupakan tanggapan menyeluruh respon DAS terhadap masukan tertentu (Sri Harto, 2000 dan Triatmodjo, 2008) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.4. Secara umum

dikenal dua jenis hidrograf, yaitu hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air menggambarkan data atau grafik hasil rekaman AWLR (*automatic water level recorder*), sedangkan hidrograf debit menyajikan hubungan antara debit dengan waktu dan umumnya disebut sebagai hidrograf.



Gambar 2.4 Respon DAS terhadap masukan hujan (diadaptasi dari Sri Harto 2000 dan Indarto, 2010)

Hidrograf debit dapat menggambarkan suatu distribusi waktu dari aliran permukaan di suatu tempat pengukuran (Gambar 2.5) dan menggambarkan keanekaragaman karakteristik fisik DAS (Sri Harto, 2000). Hubungan antara hidrograf aliran dengan karakteristik DAS dapat menunjukkan sifat respon DAS terhadap masukan hujan. Hidrograf debit di sungai dapat dijadikan sebagai indikator fungsi DAS dalam merespon hujan sebagai masukan.



Gambar 2.5 Hidrograf debit (BWS Sulawesi III Palu, 2013)

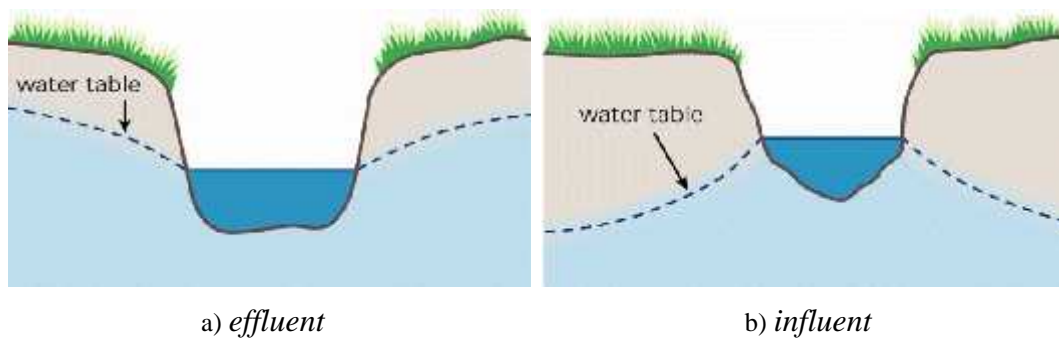
Berdasarkan bentuk hidrograf yang dihasilkan, dapat diperkirakan kondisi fisik DAS sehingga dapat dijadikan sebagai bahan untuk evaluasi DAS yang bersangkutan. Bila diasumsikan distribusi dan intensitas hujan tidak berubah, hidrograf yang dihasilkan oleh hujan sebelum dan sesudah terjadinya perubahan sifat fisik DAS akan berbeda atau berubah. Perubahan dapat dilihat pada beberapa parameter hidrograf seperti kelandaian sisi naik dan resesi, waktu puncak dan dasar dan yang terpenting adalah debit puncak yang dijadikan sebagai data awal bagi kegiatan pengelolaan dan perencanaan SDA di DAS tersebut.

2.2.1.1 Komponen Hidrograf

Chow et al., 1988, mengemukakan hidrograf dibentuk oleh tiga komponen aliran yaitu aliran permukaan (*surface run-off*), aliran antara (*interflow*) dan aliran dasar (*base flow*) (Hugenschmidt et al., 2014). Aliran permukaan dibentuk oleh limpasan yang berasal dari permukaan tanah, dimana komponen ini merupakan bagian dari transformasi hujan efektif setelah dikurangi dengan infiltrasi. Aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh faktor tutupan dan penggunaan lahan, jenis tanah, kemiringan DAS serta adanya cekungan-cekungan yang berfungsi sebagai tampungan permukaan (*depression storage*) di DAS. Air hujan yang jatuh di permukaan tanah akan menjadi aliran permukaan setelah tanah di lapisan permukaan jenuh oleh air hujan dan hujan memiliki intensitas lebih besar dari laju perkolasi. Aliran permukaan kemudian saling bertemu pada jaringan pengaliran yang kecil sebagai anak-anak sungai. Aliran tersebut terus berkumpul dan selanjutnya akan bertemu di sungai sebagai aliran air yang lebih besar dimana aliran permukaan berpadu dengan aliran bawah permukaan (*interflow*) dan aliran dasar (*base flow*) (Udayakumar et al., 2015).

Aliran antara merupakan bagian dari hidrograf yang berasal dari infiltrasi di dalam tanah. Aliran ini merupakan aliran cepat menuju jaringan anak sungai dan mengalir di bawah permukaan tanah. Sifat aliran ini memiliki gerakan lebih cepat dari aliran dasar dan lebih lambat dari aliran permukaan. Pada beberapa kasus, aliran antara dapat memiliki besaran yang sama dengan aliran permukaan, tergantung dari karakteristik infiltrasi (Indarto, 2010). Aliran ini sangat dipengaruhi oleh kapasitas infiltrasi di dalam tanah.

Aliran dasar berasal dari bagian air hujan yang terinfiltrasi dan mengalami perkolasi kedalam tanah menjadi cadangan air tanah, selanjutnya pada lokasi tertentu mengalir keluar dan bergabung dengan komponen aliran lainnya. Aliran ini teramati dalam jangka waktu yang panjang, terindikasi sebagai debit di sungai pada musim kemarau (Indarto, 2010). Aliran dasar mudah diamati pada sungai-sungai *parennial* (*effluent* atau *gaining stream*), dimana sungai-sungai jenis ini mengalir kontinyu sepanjang tahun akibat muka air di alur lebih rendah dari muka air tanah terutama di bagian hulu (*headwater zone*) (Gambar 2.6a). Pada dua tipe sungai lainnya yang masuk dalam kategori *influent* atau *losing stream* yaitu sungai *intermittent* (sungai yang mengalir hanya pada musim hujan sampai simpanan air tanah habis) dan sungai *ephemeral* (sungai yang memiliki aliran sesaat), aliran dasar lebih sulit diamati (Gambar 2.6b).

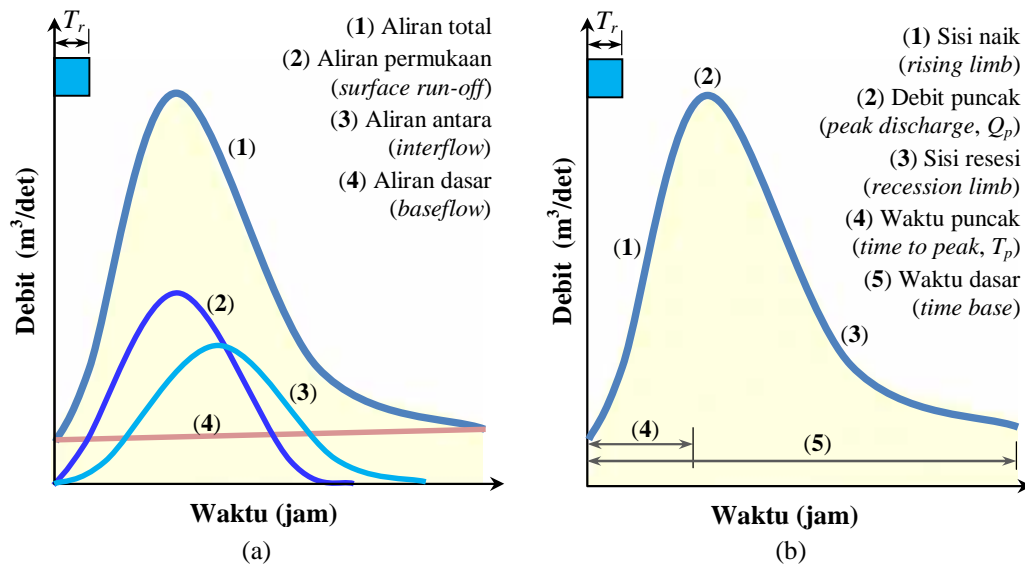


Gambar 2.6 Tipe sungai berdasarkan karakteristik aliran dasar (FISRWG, 2001)

Ketiga jenis aliran tersebut merupakan hasil transformasi hujan, yang terbagi dalam dua komponen, yaitu hujan efektif dan kehilangan (*losses*). Hujan efektif adalah bagian hujan yang menyebabkan terjadinya aliran permukaan. Kehilangan hujan merupakan bagian hujan yang menguap kembali (*evapotranspirasi*), masuk kedalam tanah (*infiltrasi*) menjadi bagian dari kelembaban tanah dan simpanan air tanah.

2.2.1.2 Parameter Hidrograf

Parameter hidrograf menyatakan bentuk hidrograf meliputi waktu puncak (T_p), waktu dasar (T_b), debit puncak (Q_p), sisi naik dan sisi resesi (Gambar 2.7b). Kelima parameter ini menggambarkan sifat DAS dalam merespon masukan hujan. Proses transformasi hujan menjadi debit yang sangat kompleks pada sistem DAS di gambarkan secara terintegrasi dalam bentuk hidrograf di sungai (Gambar 2.7a).



Gambar 2.7 Komponen dan parameter hidrograf (diadaptasi dari Triatmodjo, 2008)

Dapat dimaknai pula bahwa parameter hidrograf yang diwujudkan dalam bentuk hidrograf mengilustrasikan beragam sifat masukan dan proses. Sifat masukan hujan seperti intensitas, distribusi dan arah pergerakan secara bersamaan dengan sifat DAS sebagai proses transformasi tergambar dalam 5 parameter tersebut.

a. Waktu Puncak (*Time to Peak, T_p*)

Waktu Puncak (T_p) adalah waktu mulainya sisi naik (*rising limb*) sampai tercapainya debit puncak hidrograf. Penetapan waktu puncak sangat penting dalam analisis hidrograf terutama berkaitan dengan perencanaan sistem peringatan dini bahaya banjir dalam upaya mitigasi dan pengendalian banjir. T_p dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti yang dikutif oleh Ratnayake, (2004) meliputi: bentuk DAS (Horton, 1945; Strahler, 1964; Anderson, 1949; Anderson and Trobiz, 1949; Kent, 1971 dan Viessman, 1989), topografi (Burt and Butcher, 1985; Sherman, 1932; Taylor and Schwarz, 1952; Boyd, 1978, Betson, 1979; Berger and Entekhabi, 2001; Nyadawa and Mirangi, 2004), geologi (Ayoade, 1988; Lacey and Grayson, 1998), tutupan lahan (Arena, 1982 and Cordery, 1976), ukuran DAS (Falvoden, 1963; Kinsel, 1963; Ineson and Dowing 1964 and Pilgrim et al., 1982), faktor klimatologi (Mimiouku, 1984) dan karakteristik infiltrasi.

Paramater DAS lainnya yang dianggap berpengaruh terhadap waktu puncak adalah parameter Hukum Horton tentang jaringan sungai (*drainage network*), dimana 2 parameter (n dan K) dalam *geomorphologic unit hydrograph* (GUH) merupakan fungsi dari rasio percabangan (R_B), rasio panjang sungai (R_L) dan dan rasio luas DAS (R_A) (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979), yang menggambarkan kurva hidrograf termasuk parameter TP .

b. Waktu Dasar (*Time Base, TB*)

Waktu dasar merupakan waktu yang diukur dari titik mulai terjadinya sisi naik hidrograf sampai titik berhentinya pengaruh limpasan langsung pada sisi resesi. Waktu dasar menggambarkan sifat tampungan DAS (*storage*) yang dipengaruhi oleh jaringan sungai, topografi, sifat tanah dan luas DAS (Sri Harto, 2000).

c. Debit Puncak (*Peak Discharge, Q_p*)

Debit puncak (Q_p) merupakan parameter terpenting dalam hidrograf. Debit puncak yang sering digunakan untuk perkiraan banjir rancangan (*design flood*) dalam rangka perencanaan dan pengelolaan SDA di sungai. Debit puncak hidrograf akan tercapai jika seluruh DAS telah berkontribusi terhadap limpasan secara simultan, di mana pada kondisi ini tidak terjadi perubahan tampungan (Chow et al., 1988 dan Montarcih, 2009). Umumnya debit puncak dipengaruhi oleh karaktersitik jaringan sungai, panjang dan kemiringan sungai utama dan luas DAS. Bergantung pada sifat hujan dan karakteristik DAS, puncak hidrograf bisa berbentuk lancip (*sharp*), tumpul (*flat*) atau memiliki beberapa puncak.

d. Sisi Naik (*Rising Limb*)

Sisi naik merupakan bagian dari hidrograf antara awal hidrograf sampai debit puncak. Sisi naik hidrograf juga dikenal sebagai lengkung konsentrasi yang menggambarkan peningkatan debit di sungai akibat terlampauinya laju infiltrasi di DAS (Subramanya, 1995). Pada saat laju infiltrasi terlampui oleh intensitas hujan, sebagian air hujan akan menjadi limpasan di sungai. Sisi naik umumnya dipengaruhi oleh waktu konsentrasi aliran (T_c), luas DAS dan jaringan sungai.

e. Sisi Resesi (*Recession Limb*)

Sisi resesi merupakan bagian dari hidrograf dimulai dari debit puncak sampai akhir kurva hidrograf. Secara umum sisi resesi mempunyai bentuk logaritma natural. Sisi resesi sangat ditentukan oleh debit puncak dan sifat tampungan DAS (*storage*).

2.2.1.3 Faktor Mempengaruhi Hidrograf

Bentuk hidrograf sebagai respon masukan hujan di sistem DAS, secara garis besar dipengaruhi oleh dua (2) faktor yakni faktor psikografi dan iklim (Subramanya, 1995 dan Seo et al., 2013). Secara umum sisi naik (*rising limb*) dikontrol oleh karakteristik hujan, sedangkan sisi resesi (*recession limb*) dikontrol oleh karakteristik DAS terutama penggunaan lahan yang berperan dalam mengontrol laju infiltrasi (Alves et al., 2014 dan Devi et al., 2015). Kedua faktor tersebut sebagaimana dijabarkan pada Tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi hidrograf

Faktor Psikografi	Faktor Iklim
(1). Karakteristik DAS meliputi : bentuk, ukuran, kemiringan, kealamian bukit/lembah, elevasi dan kerapatan drainase	(1). Karakteristik hujan, meliputi: intensitas, durasi, tinggi dan arah pergerakan hujan
(2). Karakteristik infiltrasi meliputi : tutupan dan penggunaan lahan, kondisi geologi dan jenis tanah, dan adanya tampungan seperti danau, kolam dan tampungan lainnya	(2). Kehilangan awal (<i>initial loss</i>)
(3). Karakteristik alur sungai : penampang melintang, kekasaran dan kapasitas tampungan	(3). Evapotranspirasi

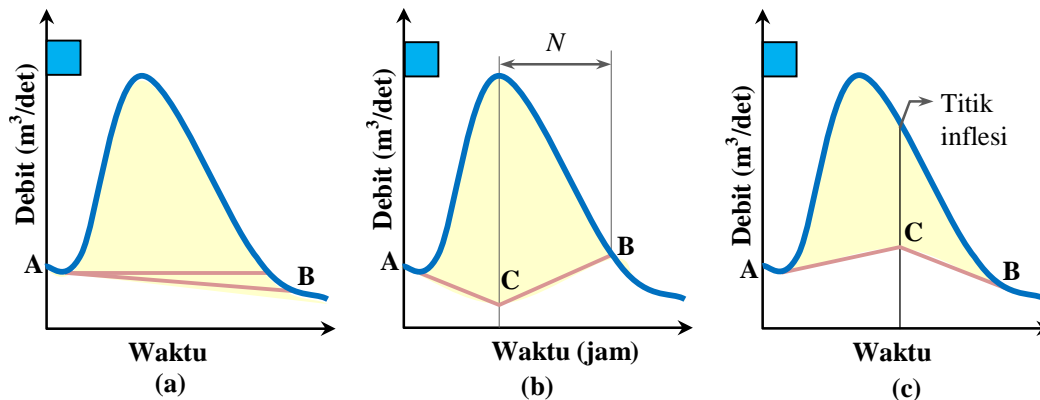
Sumber : Subramanya, 1995

Snyder (1938 dalam Jain et al., 2003) menyatakan bahwa faktor DAS, bentuk DAS, topografi, kemiringan sungai, kerapatan jaringan sungai dan alur sungai berpengaruh terhadap bentuk hidrograf. Sementara Clark (1945, dalam

Jain et al., 2003) menyatakan bahwa bentuk hidrograf sangat dipengaruhi oleh karakteristik tampungan (*storage characteristics*) suatu DAS sebagaimana juga dikemukakan oleh Nash (1960, dalam Jain et al., 2003) disamping dipengaruhi oleh faktor-faktor morfometri lainnya seperti yang disampaikan oleh Snyder. Hal ini berarti bahwa faktor-faktor tersebut merupakan faktor-faktor dominan yang mempengaruhi bentuk hidrograf, serupa dengan apa yang dituliskan oleh Subramanya (1995).

2.2.1.4 Pemisahan Hidrograf

Pemisahan hidrograf dilakukan dalam rangka mengetahui besarnya limpasan langsung dan aliran dasar terkait dengan analisis hidrograf satuan. Metode pemisahan hidrograf telah dikembangkan secara teoritis dan empiris oleh Boussinesq (1904), Maillet (1905) and Horton (1933) dan dilanjutkan oleh Hall (1968), Nathan dan McMahon (1990), Tallaksen (1995) dan Smakhtin (2001) sebagaimana dituliskan oleh Brodie dan Hostetler (2005). Secara umum, pemisahan hidrograf dapat dilakukan secara grafis (Miller et al., 2014) dengan tiga (3) cara yakni : metode garis lurus (*straight line*), metode panjang dasar tetap (*fixed base length*) dan metode kemiringan berbeda (*variable slope*) (Gambar 2.8).



Gambar 2.8 Metode pemisahan hidrograf a).metode garis lurus (*straight line*), b). metode panjang dasar tetap (*fixed base length*) dan c). metode kemiringan berbeda (*variable slope*) (diadaptasi dari Ragunath, 2006)

Metode garis lurus (*straight line*) atau dikenal juga dengan metode kemiringan konstan (*constant slope method*), merupakan cara paling sederhana dengan cara menarik garis lurus dari titik mulai terjadinya sisi naik hidrograf sampai titik berhentinya pengaruh limpasan langsung pada sisi resesi (Sri Harto,

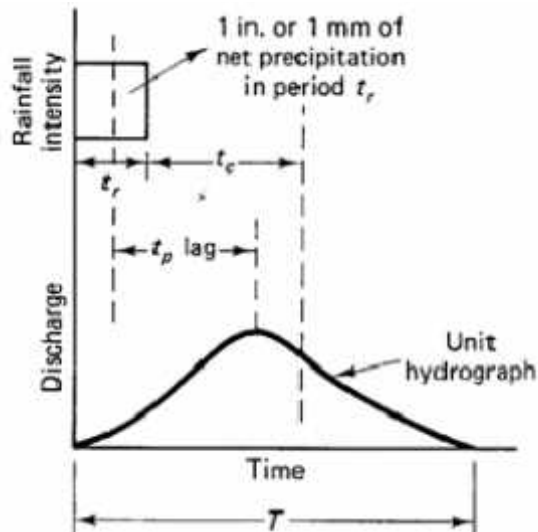
2000). Apabila titik berhentinya pengaruh limpasan langsung ini sulit diidentifikasi, maka cara yang dapat dilakukan adalah menarik garis lurus horisontal dari titik mulai terjadinya sisi naik hidrograf sampai titik perpotongan sisi resesi, atau biasa disebut dengan metode debit konstan (*constant discharge*). Cara kedua adalah metode panjang dasar tetap (*fixed base length*) atau dikenal juga *concave method* (Chow et al., 1988), yaitu membuat garis perpanjangan sisi resesi pada hidrograf sebelumnya sampai titik di bawah puncak hidrograf kemudian dilanjutkan sampai titik pada sisi resesi berjarak N hari sesudah puncak hidrograf, dimana $N=0.823 A^{0.2}$. Cara yang terakhir adalah menarik garis lurus kebelakang dari titik berhentinya pengaruh limpasan langsung pada sisi resesi sampai titik di bawah titik infleksi pada sisi hidrograf kemudian dilanjutkan ke titik awal hidrograf. Cara ini umumnya dikenal sebagai metode kemiringan berbeda (*variable slope*).

2.2.1.5 Hidrograf Satuan (*Unit Hydrograf, UH*)

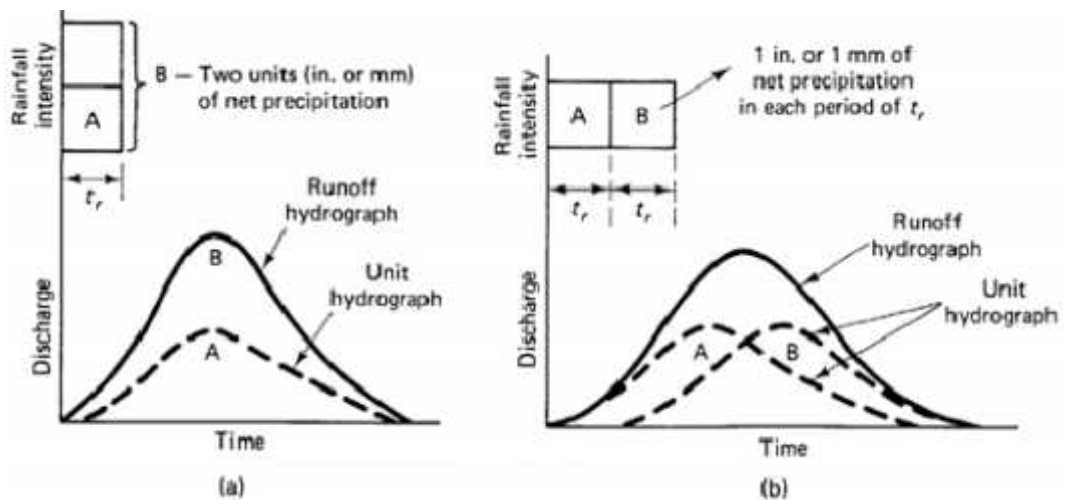
Konsep hidrograf satuan pertama kali diperkenalkan oleh Sherman Tahun 1932 (Sri Harto, 1985), dan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung (*direct run-off hydrograph*) yang dihasilkan oleh hujan-efektif yang terjadi merata di seluruh DAS dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu tertentu (Gambar 2.9). Hidrograf satuan merupakan hidrograf khas untuk suatu DAS tertentu (Ghorbani et al., 2015). Sampai saat ini, konsep hidrograf satuan masih populer dan digunakan secara luas terutama untuk analisis hidrograf banjir guna memperkirakan debit banjir rancangan pada sungai-sungai tak terukur (Saravanan et al., 2015; Ghorbani et al., 2015 dan Brunda et al., 2015)

Dua andaian pokok mengenai hidrograf satuan yaitu: hidrograf satuan ditimbulkan oleh hujan efektif terjadi merata di seluruh DAS (*spatially evenly distributed*) dan hujan efektif terjadi merata dengan intensitas hujan tetap (*constant intensity*). Selain itu, konsep hidrograf satuan juga didasarkan pada 3 landasan pemikiran, yaitu: waktu dari puncak hidrograf satuan sampai akhir hidrograf limpasan langsung selalu tetap (lebar dasar yang konstan), ordinat hidrograf limpasan langsung sebanding dengan volume hujan (*proportional, linear response*), tanggapan DAS terhadap masukan hujan tidak tergantung dari

waktu terjadinya hujan (*time invariant*) dimana limpasan langsung (*direct run-off*) yang dihasilkan oleh hujan-hujan efektif yang berurutan, besarnya sama dengan jumlah limpasan langsung yang dihasilkan oleh masing-masing hujan efektif tersebut (pinsip superposisi) (Gambar 2.10)



Gambar 2.9 Tipikal hidrograf satuan (Chow , 1964)

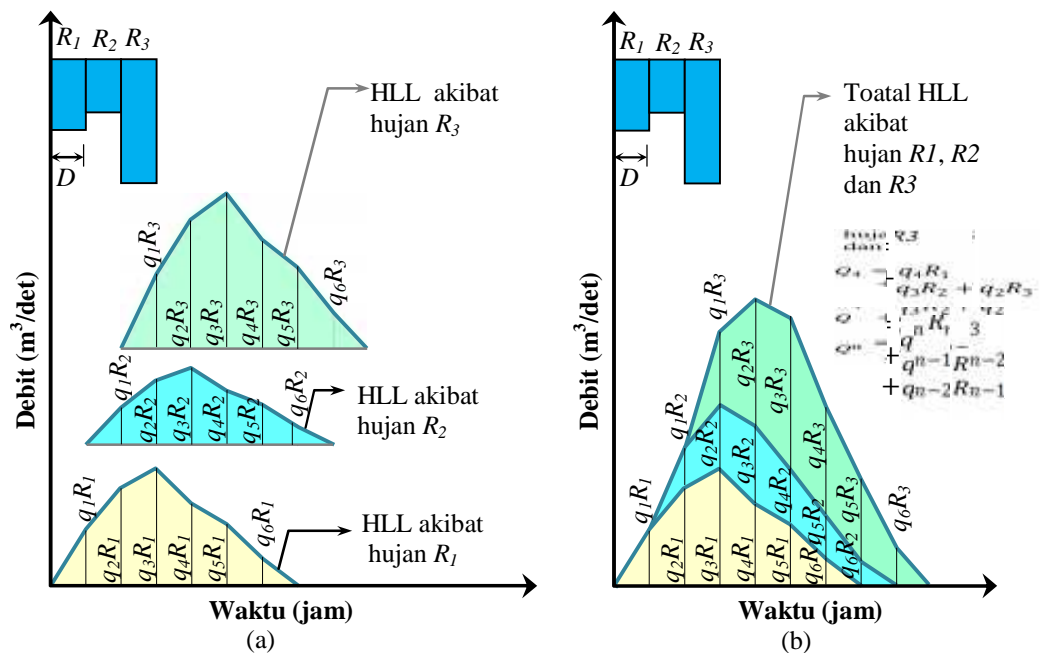


Gambar 2.10 Hidrograf satuan diturunkan dari hidrograf limpasan a). *linear response*, b). *time invariant* (Chow, 1964)

a. Penurunan Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan diturunkan berdasarkan hidrograf limpasan (*run-off*) di sungai, menggunakan data hujan dan debit yang bersesuaian waktu kejadiannya. Secara umum prosedur penurunan hidrograf satuan adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2008):

- (1). Kurva hidrograf yang bersesuaian dengan kejadian hujan dibuat, kemudian aliran dasar dipisahkan menggunakan salah satu metode sebagaimana telah diuraikan sebelumnya
- (2). Hitung luasan dibawah kurva hidrograf limpasan langsung (HLL) yang merupakan volume aliran (limpasan) permukaan, kemudian dikonversi menjadi kedalaman aliran di seluruh DAS dengan cara membagi volume limpasan dengan luas DAS.
- (3). Ordinat hidrograf satuan (HS) dibagi dengan kedalaman aliran, menghasilkan hidrograf satuan dengan durasi sama dengan durasi hujan.



Gambar 2.11 Metode Konvolusi (a). HLL akibat hujan R_1 , R_2 dan R_3 (b). Konvolusi HLL (diadaptasi dari Triatmodjo, 2008)

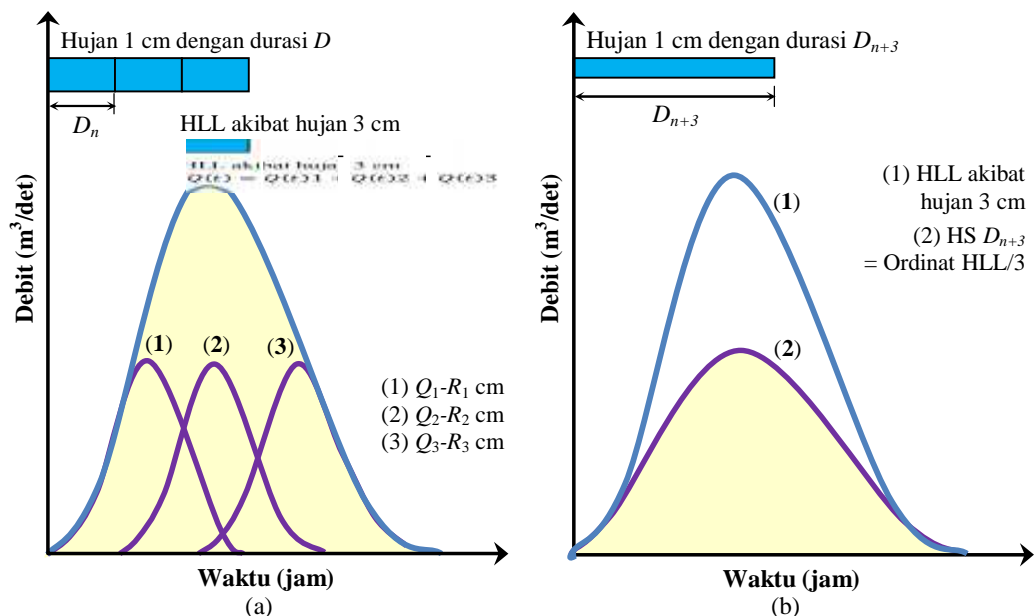
Langkah-langkah tersebut, hanya bisa dilakukan untuk menurunkan hidrograf satuan dari hujan tunggal. Apabila hujan terdiri dari beberapa intensitas yang berbeda, analisis hidrograf satuan dapat dilakukan dengan konvolusi. Cara konvolusi dilustrasikan pada Gambar 2.11.

b. Hidrograf Satuan Dengan Durasi Berbeda

Idealnya hidrograf satuan diturunkan dari hujan dengan asumsi berdurasi sama dengan rentang perbedaanya berkisar $\pm 20\%$ D (Subramanya, 1995) dan

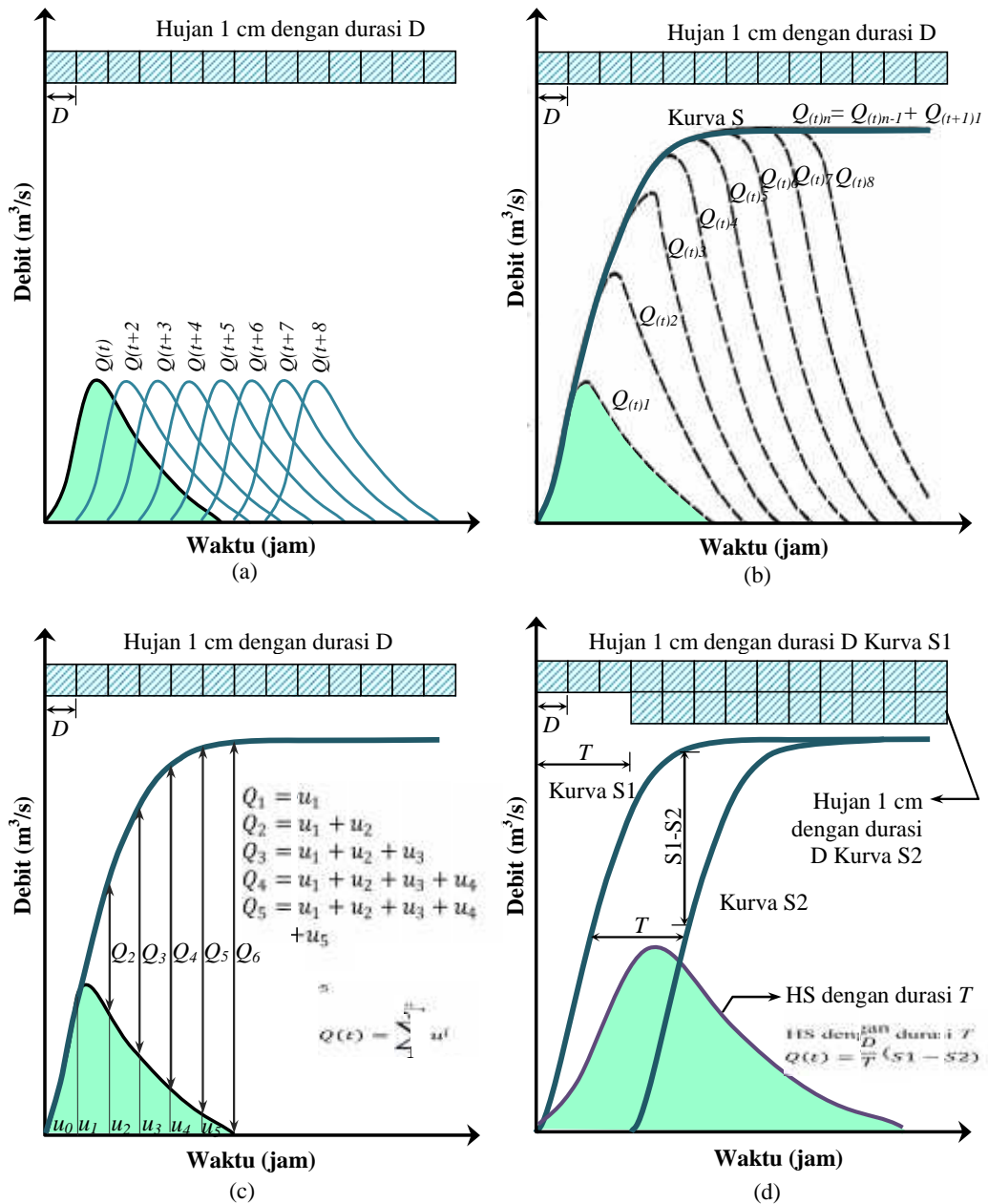
durasinya diwakili oleh durasi rata-rata. Namun seringkali diperlukan hidrograf satuan dengan tinggi hujan yang sama tetapi memiliki durasi berbeda. Penurunan hidrograf satuan dari hujan dengan durasi berbeda dapat dilakukan dengan Metode Superposisi (Gambar 2.12) dan Kurva S (Gambar 2.13).

Metode Superposisi dilakukan untuk mendapatkan hidrograf satuan berdurasi lebih panjang (D_{n+1}) dari hujan berdurasi tertentu (D_n), dengan cara superposisi hidrograf satuan sebanyak $(n+1)$ buah. Metode superposisi hanya bisa dilakukan menurunkan hidrograf satuan dari hujan berseri tunggal berdurasi D_n . Jika diinginkan menurunkan hidrograf satuan dari hujan berseri jamak berdurasi tertentu (mD_n), maka cara ini tidak dapat dilakukan (Subramanya, 1995). Cara yang dapat dilakukan adalah dengan Metode Kurva S (Gambar 2.13). Kurva S dikenal sebagai Hidrograf S, merupakan hidrograf yang dihasilkan oleh hujan kontinyu dengan besaran konstan dan berperiode tak terhingga (Subramanya, 1995). Kurva S dibentuk dengan menjumlahkan suatu seri hidrograf satuan berdurasi D_n dengan keterlambatan $t+1$ untuk masing-masing hidrograf sesudahnya (Triatmodjo, 2008).



Gambar 2.12 Metode Superposisi: (a). Superposisi hidrograf satuan, (b). Penurunan hidrograf satuan berdurasi lebih panjang (diadaptasi dari Subramanya, 1995 dan Triatmodjo, 2008)

Selain untuk mendapatkan hidrograf satuan dari hujan berdurasi pendek ke hujan berdurasi panjang, cara ini juga dapat digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan dari hujan berdurasi panjang ke hujan berdurasi pendek.



Gambar 2.13 Metode Kurva S: (a). Hidrograf satuan akibat hujan kontinyu, (b). Akumulasi hidrograf, (c). Kurva S dan (d) Kurva S akibat 2 kejadian hujan dengan tenggang waktu t (diadaptasi dari Chow et al., 1988; Subramanya, 1995 dan Triatmodjo, 2008)

2.2.1.6 Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf satuan sintetik (*synthetic unit hidrograf*, SUH) adalah hidrograf satuan tiruan yang diturunkan tanpa menggunakan data hujan atau debit. Hidrograf satuan sintetik umumnya diturunkan dari karakteristik DAS (Himanshu et al., 2013). Hidrograf satuan sintetik dapat digunakan untuk membangun hidrograf satuan di tempat lain pada sungai yang tidak diukur. Pada dasarnya ada 3 tipe hidrograf satuan sintetik sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, yaitu: a) berdasarkan hubungan karakteristik hidrograf dengan karakteristik DAS (Metode Snyder, Nakayasu dan GAMA I), b) berdasarkan pada hidrograf satuan yang tidak berdimensi (Metode SCS) dan c) berdasarkan pada metode simpanan DAS (Metode Clark, Nash, GUH dan H2U).

Berikut diuraikan beberapa jenis hidrograf satuan sintetik yang pemakaiannya sering digunakan di Indonesia, meliputi HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS GAMA I dan HSS H2U sebagai referensi pembanding.

a. HSS Snyder

Snyder (1938, Khaleghi et, al., 2011 dan Bunya et, al., 2011) mengemukakan beberapa rumus empiris berdasarkan data parameter DAS di AS (berukuran 30 km²-30000 km²) dengan menghubungkan tiga parameter penting yaitu tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*, T_l), debit puncak (*peak discharge*, Q_p) dan waktu dasar dari hidrograf (*base time*, T_b), diformulasikan sebagai:

$$T_l = 0.278 \left(\frac{C_p^2}{T_l} \right) A \quad (2.1a)$$

$$C_p^2 = 0.271^3 \left(\frac{L_p}{T_l} \right) A \quad (2.1b)$$

$$T_l = C_1 (L_c)^{0.7} \quad (2.1c)$$

$$T_b = T_l + \frac{T_l}{2} \quad (2.1d)$$

C_1 =Koefisien tampungan DAS empiris, 0.73-3.0, L =Panjang sungai utama (km), L_c =Panjang sungai dari titik terdekat titik berat DAS ke *outlet* (km) dan C_p =Konstanta empiris (0.9-1.4).

Snyder hanya membuat persamaan empiris untuk menghitung debit puncak (Q_p) dan waktu puncak (T_p). Untuk menghitung ordinat hidrograf dilakukan pendekatan perhitungan menggunakan W_{50} dan W_{75} seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14. Cara ini memiliki kelemahan berkaitan dengan bentuk hidrograf yang tidak sempurna (wajar) dan untuk mendapatkan lengkung hidrograf pada titik-titik yang lain memerlukan waktu untuk mengkalibrasi parameter-parameternya (Soemarto, 1995). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Alexejev mengusulkan persamaan hidrograf satuan untuk HSS Snyder sebagai berikut:

$$Q = f(t) \cdot E_t \quad (2.2a)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \cdot X = \frac{f(t) \cdot E_t}{Q_p} \cdot X \quad (2.2b)$$

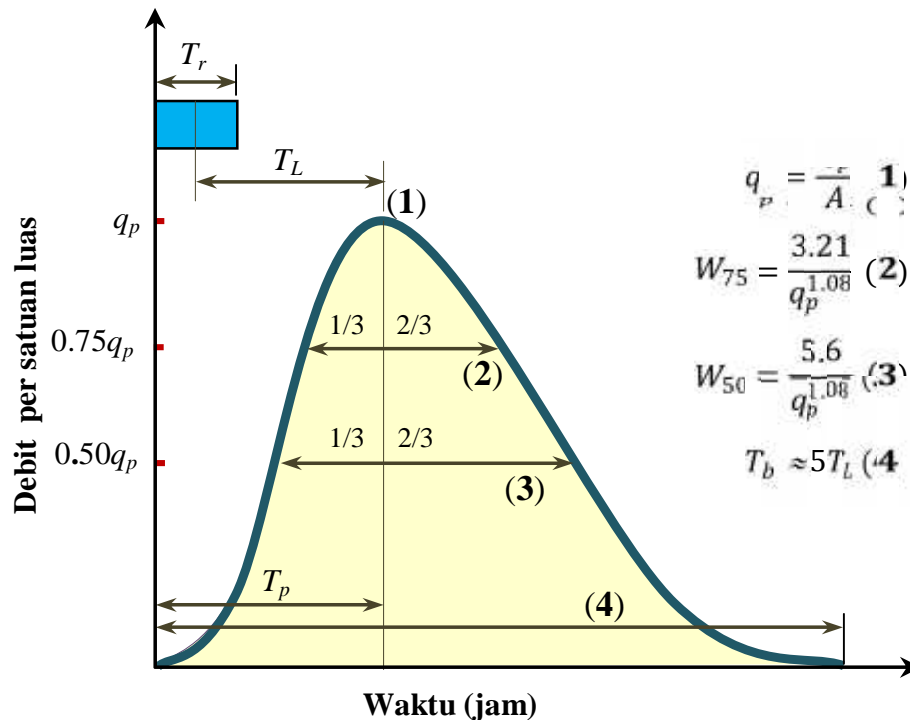
$$Y = \frac{f(t) \cdot E_t}{Q_p} \cdot X \quad (2.2c)$$

$$Y = 10^{-0.21 \frac{X}{T_p}} \quad (2.2d)$$

$$Y = 1.32 \left\{ \frac{X}{T_p} \right\}^{-0.15} + 0.045 \quad (2.2e)$$

$$\left. \begin{aligned} & \frac{1}{1.1} \approx 2.1^2 + \\ & \left. \right\} = \frac{Q_p T_p}{h A} \quad (2.2e) \end{aligned} \right.$$

X dan Y adalah koordinat hidrograf, dan h =tinggi hujan satuan sebesar 1 mm.



Gambar 2.14 HSS Snyder (diadaptasi dari Ragunath, 2006)

b. HSS Nakayasu

HSS Nakayasu (Gambar 2.15) disusun berdasarkan karakteristik DAS di Jepang dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = 3.6 \frac{A R_o}{(0.37 T_p + T_{0.3})} \tag{2.3a}$$

$$C_{1.3} = \frac{0.8}{0.37 T_p + T_{0.3}} \tag{2.3b}$$

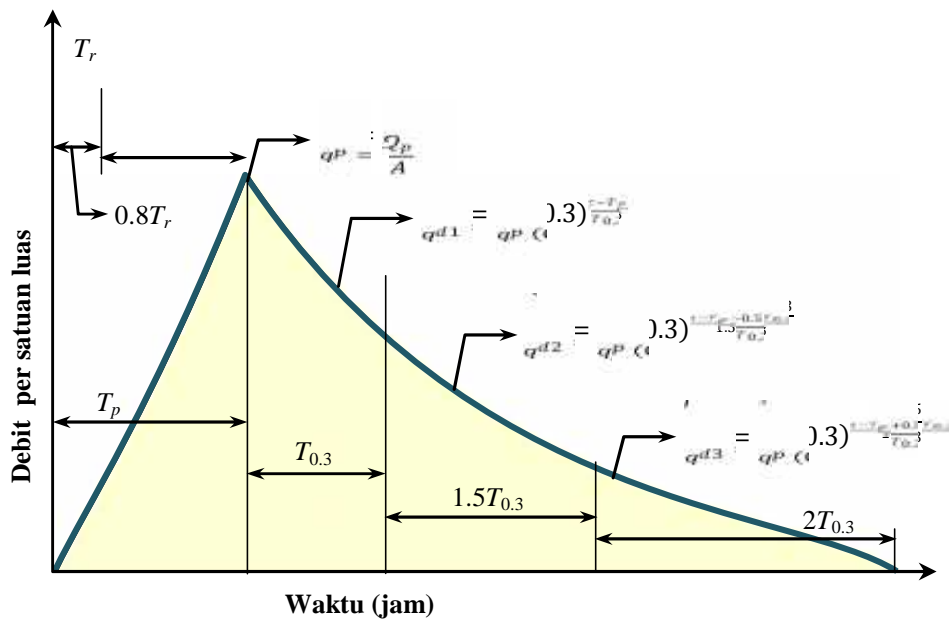
$$\frac{q_{d1}}{q_p} = (0.5 - 1) C_{1.3} \tag{2.3c}$$

$$\frac{q_{d2}}{q_p} = 0.5 - 1 \tag{2.3d}$$

$$\frac{q_{d3}}{q_p} = 0.21 \frac{T_p}{L} \tag{2.3e}$$

$$\frac{q_{d3}}{q_p} = 0.4 + 0.058 \frac{L}{L_0} \tag{2.3f}$$

dengan Q_p = debit puncak banjir (m^3/s), R_o = hujan satuan (mm), T_p = tenggang waktu (*time lag*) dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam), T_g = tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*), T_r = Lama hujan (jam). Nilai r ditetapkan sebagai berikut: daerah pengaliran biasa $r = 2$, bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $r = 1.5$ dan bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $r = 3$



Gambar 2.15 HSS Nakayasu (diadaptasi dari Sasrodarsono, 1998)

Bagian lengkung naik (*rising limb*) hidrograf satuan dirumuskan sebagai:

$$Q^a = Q^p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \quad (2.3g)$$

Bagian lengkung turun (*decreasing limb*) hidrograf satuan dinyatakan sebagai:

$$Q^{d1} = Q^p \left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right)^{1.5} \quad T_p \leq t \leq (T_p + T_{0.3}) \quad (2.3h)$$

$$Q^{d2} = Q^p \left(\frac{t - T_p + 1.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}} \right)^{1.5} \quad (T_p + T_{0.3}) < t \leq (T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3}) \quad (2.3i)$$

$$Q^{d3} = Q^p \left(\frac{t - T_p + 1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}} \right)^{1.5} \quad t > (T_p + T_{0.3} + 1.5T_{0.3}) \quad (2.3j)$$

c. HSS GAMA I

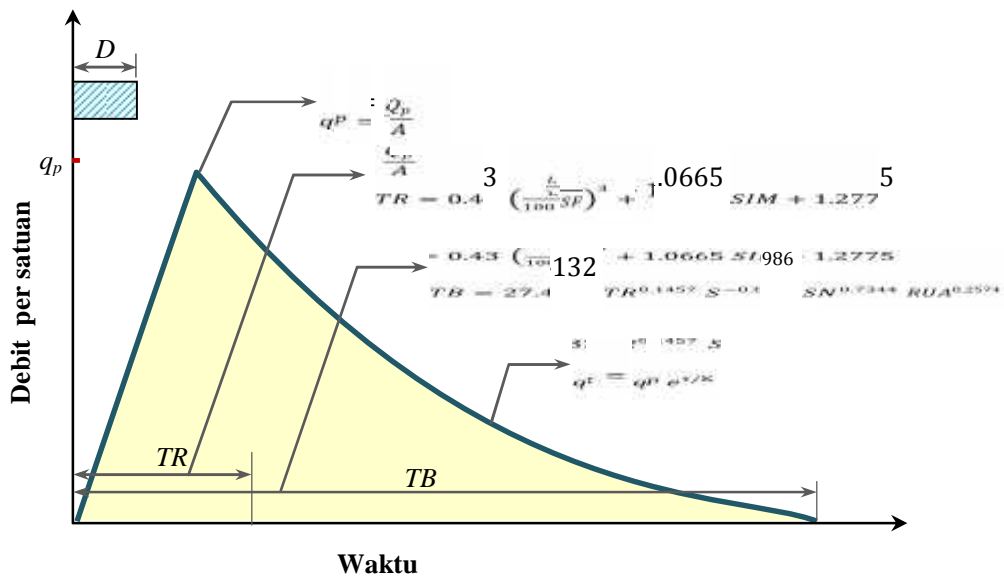
HSS GAMA I (Gambar 2.16) disusun oleh Sri Harto (1985) berdasarkan karakteristik 30 DAS di Pulau Jawa. Persamaan HSS GAMA I dipresentasikan berdasarkan empat sifat dasar hidrograf satuan yakni: waktu naik (*time of rise*, TR), debit puncak (*peak discharge*, QP), waktu dasar (*base time*, TB) dan koefisien tampungan (*storage coefficient*, K), sebagai berikut:

$$TR = 0.4 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^{0.65} + 1.0665 SIM + 1.277 \quad (2.4a)$$

$$TR = 0.4 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^{0.65} + 1.0665 SIM + 1.277 \quad (2.4b)$$

$$QP = 0.18 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^{1.32} + 0.000000 IN + 0.2381 TR - 0.4000 \quad (2.4c)$$

$$TB = 27.4 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^{0.1457} S - 0.00986 SN + 0.7344 RUA + 0.2874 \quad (2.4d)$$



Gambar 2.16 HSS GAMA I (diadaptasi dari Sri Harto, 1985)

dengan TR = waktu naik (jam), L = panjang sungai (km), SF = faktor sumber, SIM = faktor simetri, QP = debit puncak (m^3/s), JN = jumlah pertemuan sungai, TR = waktu naik (jam), T_B = waktu dasar (jam), S = kemiringan sungai rata-rata, SN = frekuensi sumber, RUA = faktor luas DAS sebelah hulu, K = koefisien tampungan (jam), A = luas DAS (km^2), D = kerapatan jaringan kuras (km/km^2). Debit pada sisi resesi (Q_t) dinyatakan dengan:

$$Q_t = (Q_p) e^{-Kt} \quad (2.4e)$$

d. HSS ABG

HSS ABG (rsx) dikembangkan oleh Lasidi (2003) dengan mengadopsi Metode Delay-Stokage yang dinyatakan dalam bentuk persamaan hidrograf kurva tunggal (Bentura, 1996 dalam Lasidi dkk, 2003). Mengingat bahwa HSS ABG merupakan HSS pertama yang dikembangkan di **Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)**, maka selanjutnya HSS ABG ini dinyatakan (dinamakan) sebagai **HSS ITS-1**. Persamaan hidrograf relatif serupa dengan parameter yang digunakan dalam HSS GAMA I, sebagai berikut:

$$QP = 8.39737 \left(\frac{A}{L}\right)^{2.42286} WF^{-0.55581} SIM^{1.26217} JN^{-0.66405} \quad (2.5a)$$

$$\frac{r}{T_p} = 0.06003 \left(\frac{A}{L}\right)^{2.42286} WF^{-0.55581} SIM^{1.26217} JN^{-0.66405} \quad (2.5b)$$

$$\frac{T_p}{T_b} = \frac{L + 4.1619SIM + 19.14 SF - 12.616}{A^{-0.26681} L^{0.7277} S^{-0.14111}} \quad (2.5c)$$

Persamaan kurva hidrograf dinyatakan sebagai:

$$q(t) = \left(\frac{r}{T_p}\right)^\alpha e^{-\beta t} \left[1 - \left(\frac{r}{T_p}\right)^\beta\right]^\gamma \quad (2.5d)$$

$$\alpha = 2 \quad (2.5e)$$

$$\beta = 5.72481 \left(\frac{A}{L}\right)^{-1.01227} \left(\frac{r}{T_p}\right)^{1.02765} Q_p^{1.01502} \quad (2.5f)$$

$$\gamma = 5.75020 \left(\frac{A}{L}\right)^{-1.01227} \left(\frac{r}{T_p}\right)^{1.02765} Q_p^{1.01502} \quad (2.5g)$$

Q_p =debit puncak (m^3/det), L = panjang sungai utama (km), SIM =faktor simetri, SF =faktor sumber, JN =jumlah pertemuan sungai, WF =faktor lebar, T_p =waktu puncak (jam), T_b =waktu dasar (jam), S =kemiringan sungai utama, A =luas DAS (km^2), r, s, x =faktor bentuk hidrograf yang mempengaruhi kemiringan kurva sisi naik (r) dan kemiringan kurva sisi turun (S dan x) dan $q(t)$ =debit satuan (m^3/det).

e. HSS Limantara

HSS Limantara oleh Montarcih (2009) di Universitas Brawijaya berdasarkan DAS-DAS di Indonesia (Jawa, Kalimantan, Bali dan Lombok) dengan luas (A) 5000 km². Persamaan debit puncak dalam HSS Limantara dinyatakan dengan:

$$C_p = 0.042 \quad (2.6a)$$

Persamaan waktu puncak mengikuti (mengadopsi) persamaan HSS Nakayasu. Kurva hidrograf dinyatakan dalam 2 persamaan yaitu persamaan kurva naik dan persamaan kurva turun, sebagai:

$$Q^n = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{1.114} \quad (\text{kurva naik}) \quad (2.6b)$$

$$Q^n = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{-1.75} \quad (\text{kurva turun}) \quad (2.6c)$$

dengan Q_p = debit puncak banjir (m³/s), A =luas DAS (km²), L =Panjang sungai utama (km), L_c =Panjang sungai dari titik terdekat titik berat DAS ke *outlet* (km), S =kemiringan sungai utama dan n =koefisien kekasaran DAS.

f. HSS ITB

HSS ITB merupakan HSS dengan parameter sederhana dikembangkan oleh Natakusumah, (2011). Persamaan debit puncak disusun berdasarkan persamaan konservasi massa. Persamaan yang digunakan dalam HSS ITB adalah:

$$T_p = 0.81 \frac{L^{0.8}}{S} \quad (2.7a)$$

$$Q_p = 10 \frac{A^{0.8}}{L^{0.8}} \quad (2.7b)$$

$$Q_p = 3.6 \frac{A^{0.8}}{T_p^{0.8}} \quad (2.7c)$$

HSS ITB terdiri dari HSS ITB-1 (persamaan kurva tunggal) dan HSS ITB-2 (persamaan kurva terdiri dari persamaan kurva naik dan kurva turun), yang dinyatakan dengan:

$$q(t) = \exp \left\{ 2 - \left(\frac{t}{T_p} \right) - \frac{1}{\left(\frac{t}{T_p} \right)} \right\} \quad \text{ITB-1} \quad (2.7d)$$

$$q(t) = e^{-t/T_p} \quad \text{ITB-2 (kurva naik)} \quad (2.7e)$$

$$q(t) = \exp \left\{ 1 - \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\beta C_p} \right\} \quad \text{ITB-2 (kurva turun)} \quad (2.7f)$$

Q_p =debit puncak (m^3/det), T_p =waktu puncak (jam), T_b =waktu dasar (jam), L =panjang sungai utama (km), A =luas DAS (km^2), A_{hss} =luas kurva HSS (tak berdimensi), $q(t)$ =debit satuan (m^3/det), C_t =koefisien waktu, C_p =koefisien puncak, α dan β =faktor bentuk hidrograf.

g. HSS H2U

Model H2U (*Hydrogramme Unitaire Universel*) atau *Universal Unit Hydrograph* dikembangkan oleh Duchesne pada tahun 1998 di laboratorium hidrologi *Ecole Nationale Supérieure Agronomique* Perancis, berdasarkan parameter geomorfologi (Sumarjo et al., 1999). Model ini merupakan pengembangan lebih lanjut konsep GUH (*Geomorphologic Unit Hydrograph*) dimana menurut Rodriguez-Iturbe dan Valdes (1979) hidrograf satuan dapat diturunkan dari fungsi kerapatan probabilitas jaringan sungainya (*probability density function, PDF*). Jadi hanya dengan berbekal peta topografi, hidrograf satuan Model H2U dapat dibangun. Persamaan PDF dinyatakan sebagai (Sumarjo et al., 1999 dan Fleurant et al., 2003):

$$\rho(L) = \left(\frac{n}{2\bar{L}} \right)^{\frac{n-1}{2}} \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \bar{L}^{\frac{n-1}{2}} \exp\left(-\frac{nL}{2\bar{L}}\right) \quad (2.8a)$$

$\rho(L)$ =fungsi kerapatan probabilitas (PDF), n = orde sungai, \bar{L} = panjang lintasan hidraulik rata-rata, dan $\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)$ = fungsi Gamma. Persamaan ini memiliki kemiripan dengan persamaan Nash sebagai fungsi Gamma:

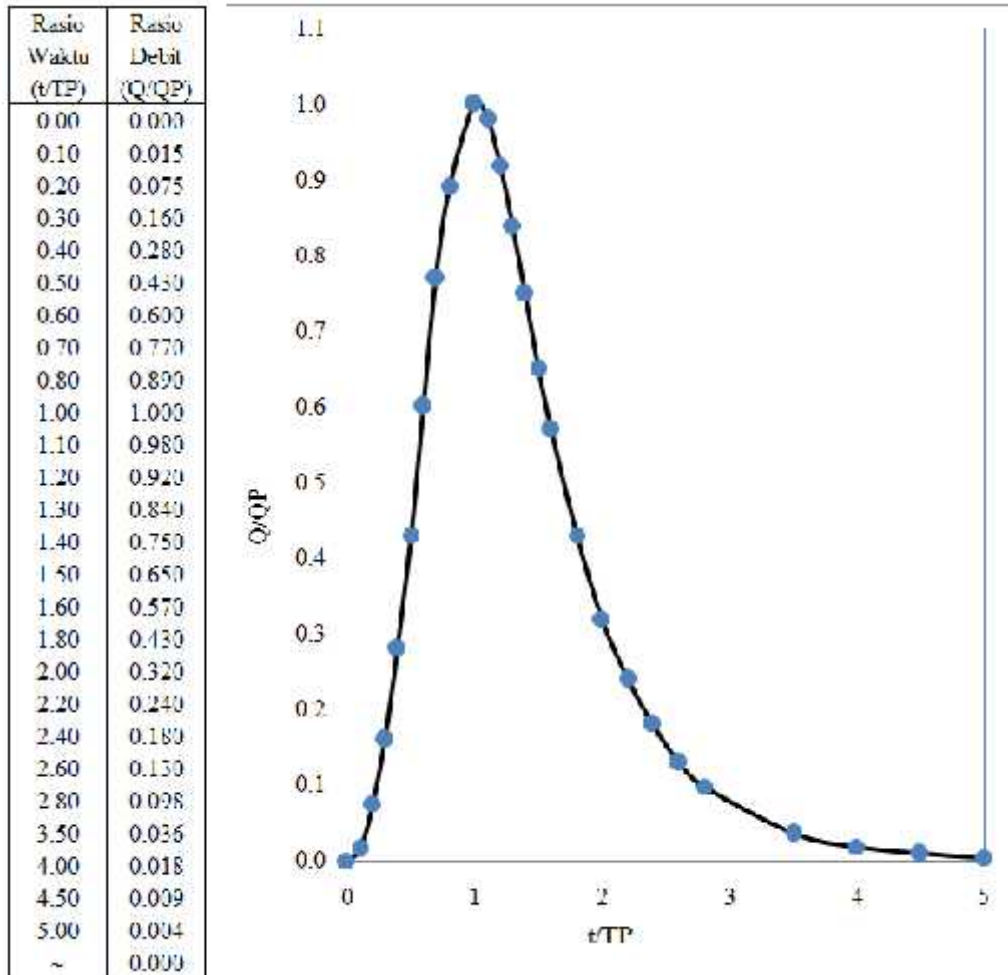
$$h(t) = \left(\frac{t}{K} \right)^{N-1} \frac{\exp(-t/K)}{K\Gamma(N)} \quad (2.8b)$$

2.2.1.7 Transformasi Hidrograf

Bentuk Hidrograf Satuan Sintetik berupa tiga (3) parameter dasar yakni Q_p , T_p dan T_b tersebut dapat ditransformasi menjadi kurva hidrograf untuk mendapatkan hubungan antara waktu (t) dan debit (Q). Berikut disajikan beberapa metode yang dapat digunakan untuk keperluan transformasi kurva tersebut.

a. Metode Rasio Dimensi Hidrograf Satuan

Metode Rasio Dimensi Hidrograf Satuan dikembangkan oleh Victor Mockus (NCRS, 1972 dalam Ghorbani et al., 2013) merupakan hidrograf sebagai rasio (t/T_p) dengan rasio (Q/Q_p), yang dinyatakan seperti Gambar 2.17 berikut ini:



Gambar 2.17 Rasio Dimensi Hidrograf Satuan (diadaptasi dari Cow et al., 1988)

b. Metode Delay-Storage

Dalam bentuk hidrograf tunggal dengan mengabaikan Q_0 persamaan hidrograf dinyatakan dengan (Bentura, 1996 dalam Lasidi dkk, 2003):

dinyatakan dengan (Bentura, 1996 dalam Lasidi dkk, 2003) (2.9)

$$q(t) = \left(\frac{t}{T_p}\right)^n \exp \left[\frac{2}{\gamma} \left\{ 1 - \left(\frac{t}{T_p}\right) \right\}^\gamma \right]$$

r , s dan x merupakan parameter kurva hidrograf, yang mempengaruhi kemiringan kurva sisi naik (r) dan kemiringan kurva sisi turun (s dan x).

c. Metode Distribusi Gamma 2 parameter (2PGDF)

Distribusi Gamma merupakan salah satu model distribusi untuk transformasi kurva hidrograf berbasis distribusi probabilitas. Beberapa distribusi lainnya adalah Distribusi Beta, Chi-Square, Normal, Pearson dan Weibull. Pada kebanyakan kasus Distribusi Gamma memberikan hasil yang paling memuaskan dibandingkan dengan distribusi probabilitas lainnya (Ghorbani et al, 2013) terutama Distribusi Gamma 2 parameter (2PGDF). Oleh karenanya banyak metode-metode HSS dikembangkan berdasarkan Distribusi Gamma seperti HSS Nash oleh Nash Tahun 1957 (Bhunya et al., 2003) dan HS H2U oleh Duchesne and Cudennec Tahun 1998 (Sumarjo et al., 1999 dan Fleurant et al., 2003).

Bentuk umum persamaan Distribusi Gamma 2 parameter (2PGDF) adalah

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}; x \geq 0 \tag{2.10a}$$

Nash dan Dooge (1959) menurunkan persamaan hidrograf satuan sesaat (*the instantaneous unit hydrograph*) dalam bentuk (Ghorbani et al, 2013):

$$q = \frac{1}{K\Gamma n} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{K}} \tag{2.10b}$$

n dan K menyatakan faktor bentuk hidrograf, q =kedalaman limpasan per satuan waktu. Hubungan antara K dan n dinyatakan dengan (Patil et al., 2012):

$$K = \frac{t_p}{(n-1)} \tag{2.10c}$$

2.2.2 Distribusi Hujan

Sifat hujan yang paling mendasar adalah distribusinya bervariasi terhadap ruang dan waktu (Aldoma et al., 2014). Idealnya hidrograf satuan diturunkan berdasarkan data hujan durasi pendek dari stasiun hujan otomatis (Sujono dkk., 2007). Namun umumnya data ini jarang tersedia, dengan demikian distribusi hujan yang digunakan untuk penurunan hidrograf satuan tidak diketahui.

Untuk mengatasi hal tersebut, Sri Harto (2000) memberikan petunjuk bahwa pola distribusi hujan dapat diperkirakan berdasarkan data dari stasiun terdekat. Namun apabila data itu juga sulit untuk didapatkan, maka pola distribusi hujan dapat didekati dengan distribusi hujan hipotetik seperti distribusi seragam, segi tiga, Mononobe dan ABM.

Sujono (1998) menggunakan model ABM dan hujan harian untuk menurunkan hidrograf satuan dan memberikan hasil yang cukup baik (Sujono dkk., 2007). Edi Sukoso (2004) melakukan penelitian tentang pola distribusi hujan di DAS Bedog, Code dan Winongo di kawasan Gunung Merapi dan membandingkannya dengan distribusi hujan dari pos hujan otomatis, menunjukkan adanya kemiripan untuk DAS tersebut (Sujono dkk., 2007). Pola distribusi hujan untuk ketiga DAS tersebut seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pola distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di kawasan Gunung Merapi

DAS	Persentase hujan (%) jam ke-				
	1	2	3	4	5
Bedog	30.64	35.49	22.47	11.40	0.00
Code	25.65	27.00	22.58	15.75	9.02
Winongo	30.95	34.69	22.52	11.84	0.00

Sumber : Sujono dkk., 2007

2.2.3 Morfometri DAS

Morfometri menyatakan ukuran dan analisis matematis konfigurasi, bentuk dan dimensi permukaan bumi (Clarke 1996, dalam Rekha et al., 2011 dan Agarwal, 1998 dalam Pareta et al., 2012). Morfometri DAS merupakan ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan aspek geomorfologi suatu daerah. Karakteristik DAS yang dimaksud meliputi luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, pola dan kerapatan drainase, dan gradien kecuraman sungai (Wagener et al., 2001 dan Rama, 2014). Karakteristik ini terkait dengan proses pengatusan (drainase) air hujan yang jatuh di dalam DAS dan berpengaruh terhadap keluaran debit di *outlet* (hidrograf). Analisis morfometri DAS memiliki

peran penting dalam memahami hubungan antara parameter DAS (Chandrashekar et al., 2015)

Ukuran kuantitatif karakteristik DAS dinyatakan dengan parameter morfometri, meliputi *linear morphometry*, *areal morphometry* dan *relief morphometry* (Pareta et al., 2012). *Linear morphometry* meliputi jumlah ruas tiap orde (N_o), jumlah total ruas sungai seluruh orde (N), panjang sungai (L), rasio percabangan (R_B), rasio panjang sungai (R_L) dan panjang lintasan aliran (L_o). *Areal morphometry* dibedakan atas luas tangkapan pada setiap orde (A_o), hubungan panjang-luasan, bentuk DAS, kerapatan drainase (D), frekuensi aliran dan konstanta pengelolaan saluran (C). Kategori yang terakhir, *relief morphometry* terdiri atas *relief ratio* (R_h), *relative relief* (R_{hp}), *relative basin height* (y), *relative basin area* (x) dan *ruggedness number* (R). Menurut Sri Harto (1985), ada 4 parameter utama dari morfometri DAS yang dianggap berperan penting dalam pembentukan aliran yaitu luas DAS (A , *catchment area*), panjang sungai (L , *main stream length*), landai sungai rata-rata (S , *average main stream slope*) dan kerapatan jaringan sungai (D , *drainage density*). Khusus parameter kerapatan jaringan drainase akan diuraikan tersendiri pada bagian karakteristik fraktal DAS.

2.2.3.1 Bentuk dan Ukuran DAS

Bentuk DAS umumnya beraneka ragam, tergantung dari topografi dan geomorfologi wilayah dimana suatu DAS berada. Namun secara umum bentuk DAS dapat dinyatakan dengan parameter bentuk yaitu rasio elongasi (*elongation ratio*), *circularity ratio*, bentuk DAS (*basin shape*) dan faktor bentuk (*form factor*) seperti disajikan pada Tabel 2.3). Bentuk DAS mempengaruhi waktu tempuh aliran dari ujung DAS sampai di titik *outlet* (Subramanya, 1995), yang berimplikasi pada bentuk hidrograf (Gambar 2.18).

Elongation Ratio (E_R) dan *Circularity Ratio* (C_R) menyatakan tingkat kebundaran bentuk DAS. DAS berbentuk lingkaran (dengan luas yang sama) lebih efisien mengalirkan debit dari pada DAS memanjang (*elongated*) (Singh and Singh, 1997 dalam Khanbabaie et al., 2013). Hal ini terjadi karena limpasan pada DAS memanjang tidak terkonsentrasi secepat pada DAS dengan bentuk melebar,

artinya bahwa jarak antara jatuhnya titik air hujan dengan titik pengamatan (*outlet*) pada suatu DAS memanjang lebih besar daripada jarak antara dua titik tersebut pada bentuk DAS melebar (Asdak, 2007). Oleh karena itu diperlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai *outlet* DAS, dengan demikian debit puncak hidrograf menjadi lebih kecil. Selain itu pada DAS memanjang, distribusi hujan cenderung tidak merata dan proses terjadinya hujan merata memerlukan waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan dengan DAS melebar, sehingga pada DAS memanjang debit puncak hidrograf cenderung lebih kecil dari DAS melebar. Berdasarkan parameter *Circularity Ratio* (C_R), DAS dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori *circular* ($C_R > 0.9$), *oval* ($0.9 > C_R > 0.8$) dan *elongated* ($C_R < 0.8$).

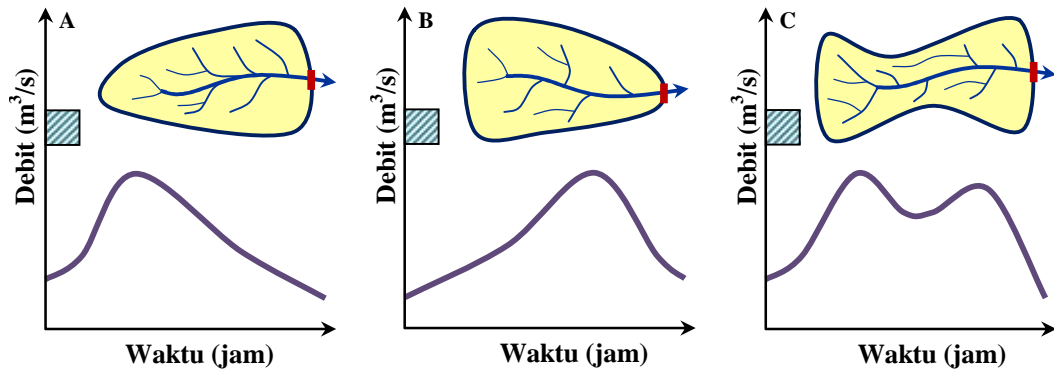
Tabel 2.3 Parameter bentuk DAS

Parameter Bentuk	Persamaan	Keterangan
<i>Elongation Ratio</i> (E_R)	$E_R = \frac{L_B}{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}}$	Rasio antara diameter suatu lingkaran yang memiliki luas yang sama dengan luas DAS terhadap panjang DAS (L_B) (Schumm, 1956)
<i>Circularity Ratio</i> (C_R)	$C_R = \frac{4A}{P^2}$	Rasio antara luas DAS (A) dengan luas suatu lingkaran yang memiliki keliling (perimeter) yang sama dengan keliling DAS (Miller, 1960)
<i>Basin Shape</i> (B_S)	$B_S = \frac{(L_B)^2}{A}$	Rasio antara kuadrat panjang DAS (L_B) dengan luas DAS (A) (Horton, 1932)
<i>Form Factor</i> (F_b)	$F_b = \frac{A}{(L_B)^2}$ $F_b = 1.312 \frac{A^{0.568}}{L_B^{1.136}}$	Rasio antara luas DAS (A) dengan kuadrat panjang DAS (L_B) (Horton, 1932)

Sumber : Rekha et al, 2011 dan Pareta et al., 2012

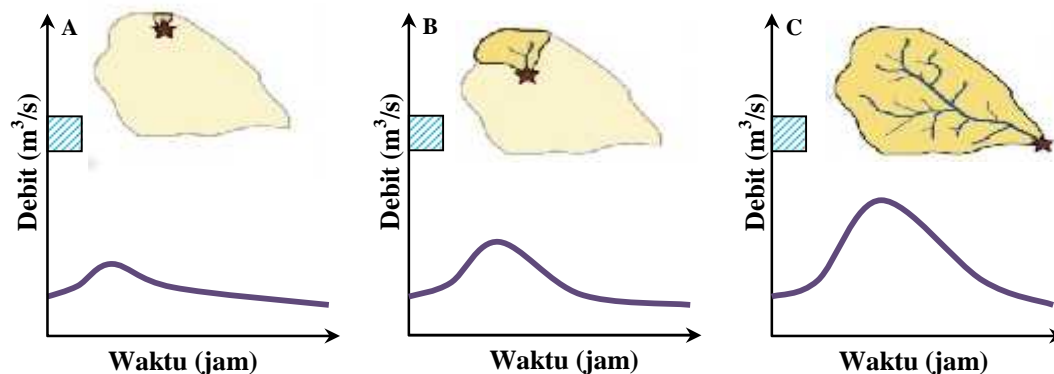
Faktor bentuk (*form factor*) merupakan rasio antara luas DAS (A) dengan kuadrat panjang DAS (L_B). Nilai faktor bentuk selalu kurang dari 0.754, dimana nilai 0.754 merupakan nilai faktor bentuk DAS bundar sempurna (Horton, 1932

dalam Pareta et al., 2012). Semakin kecil nilai faktor bentuk, maka bentuk DAS semakin memanjang. DAS dengan faktor bentuk tinggi, memiliki waktu pencapaian puncak hidrograf yang singkat dengan debit puncak yang tinggi.



Gambar 2.18 Pengaruh bentuk DAS terhadap hidrograf (diadaptasi dari Subramanya, 1995)

Ukuran (luasan) DAS merupakan salah satu faktor penting dalam pembentukan hidrograf aliran. Semakin besar luas DAS, ada kecenderungan semakin besar jumlah curah hujan yang diterima (Asdak, 2007). Sebagai konsekuensinya, DAS besar akan menghasilkan debit puncak (Q_p) dan waktu dasar (T_b) yang lebih besar dari DAS kecil dan diperlukan waktu yang lebih panjang untuk mencapai puncak hidrograf (T_p) (Gambar 2.19).

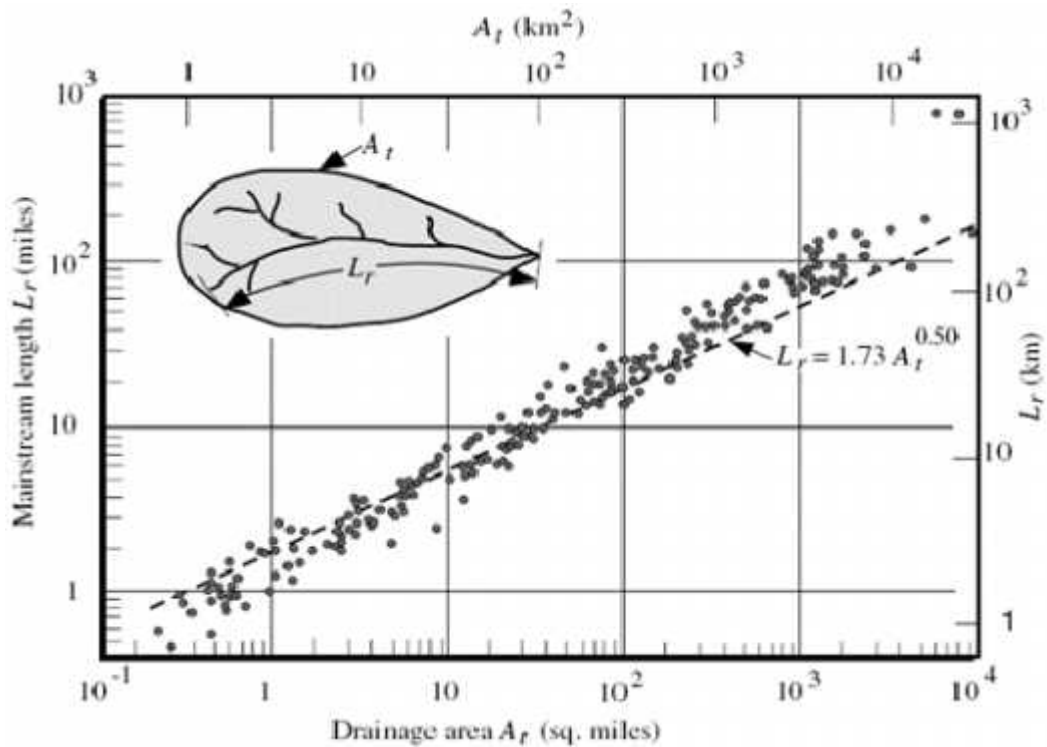


Gambar 2.19 Pengaruh ukuran DAS terhadap hidrograf (diadaptasi dari Ratnayake, 2004)

Berdasarkan ukurannya, DAS dibedakan menjadi 3 yaitu: DAS kecil (*small watershed*, $A < 1 \text{ km}^2$), DAS menengah (*meso scale watershed*, $10 \text{ km}^2 < A < 1000 \text{ km}^2$) dan DAS besar (*macro watersheds*, $A > 1000 \text{ km}^2$) (Stefan et al., 2004 dalam Kouli et al., 2007, Safarina et al., 2011 dan Safarina, 2012)

2.2.3.2 Panjang Sungai

Panjang sungai merupakan panjang sungai utama dari hulu sampai di titik *outlet*. Umumnya, tipologi sungai dari hulu ke hilir memiliki pola berkelok-kelok (*meander*) tergantung dari bentuk dan kemiringan topografinya. Semakin banyak belokan sungai, untuk DAS yang sama, maka panjang sungai akan semakin bertambah. Hal ini berarti bahwa kemiringan sungai semakin berkurang dan implikasinya kecepatan aliran rata-rata di sungai juga semakin menurun. Apabila kecepatan aliran di sungai berkurang, maka waktu pencapaian debit puncak hidrograf akan semakin panjang.



Gambar 2.20 Hubungan antara panjang sungai (L) dengan luas DAS (A) (Gordon et al., 2004)

Selain itu, alur sungai juga berperan sebagai tampungan (*storage*) ketika aliran dilewatkan dari hulu ke hilir. Selama perjalanannya, puncak hidrograf akan mengalami pemaparan akibat adanya faktor tampungan di sungai. Oleh karena itu panjang sungai akan sangat berpengaruh terhadap waktu puncak dan debit puncak akibat adanya tampungan tersebut.

Umumnya panjang sungai dapat diperoleh dari analisis peta topografi. Namun, secara empiris oleh Hack (1957, dalam Zhou, 2004 dan Reis, 2006)

panjang sungai dapat dinyatakan dengan luas DAS (Gambar 2.20), sebagai berikut :

$$L(\omega) \propto \alpha A(\omega)^\beta \quad (2.11)$$

$L(\omega)$ dan $A(\omega)$ adalah panjang sungai utama (km) dan luas DAS (km^2) pada orde tertentu, α dan β = konstanta dengan nilai masing-masing 1.4 dan 0.568 sebagaimana yang disampaikan oleh Gray (1961) dan Mueller (1973). Mandelbrot (1973) menggunakan parameter β ini untuk mendefinisikan dimensi fraktal sungai utama ($D_f = 2\beta$) (De Bartolo et al., 2000)

2.2.3.3 Kemiringan DAS dan Sungai

Kemiringan DAS dan sungai berkaitan langsung dengan bentuk topografi, panjang lereng dan panjang sungai. Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya kemiringan sungai (berlaku juga untuk kemiringan DAS) berdampak langsung terhadap kecepatan aliran sungai. Semakin tinggi kemiringan sungai (DAS) maka kecepatan aliran juga semakin tinggi dan kesempatan aliran untuk meresap ke dalam tanah (terinfiltrasi) semakin kecil, sehingga sebagian besar aliran akan menjadi bagian limpasan langsung (*direct run-off*). Hal ini berarti kemiringan sungai sangat mempengaruhi waktu puncak dan debit puncak.

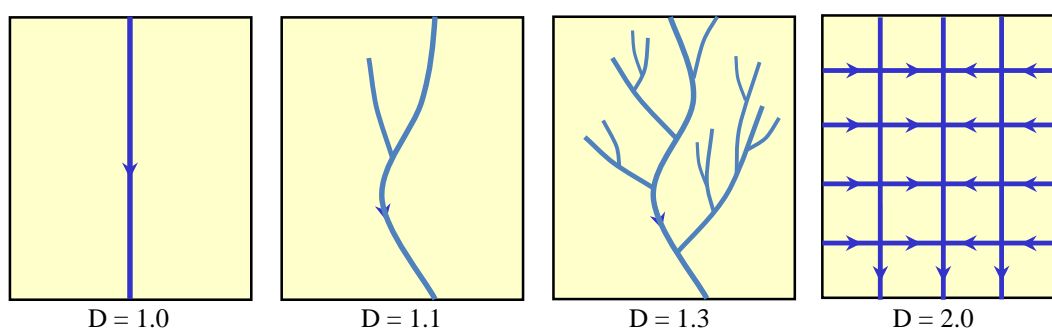
2.2.4 Karakteristik Fraktal DAS

Teori fraktal berkembang dari konsep keserupaan bentuk diri (*self similarity*) antara ukuran total sistem (*fraction*) dan ukuran terkecilnya (*fractal*). Perkembangan studi tentang fraktal dimulai oleh Mandelbrot (1982), yang mengemukakan teori tentang geometri fraktal sebagai suatu *keserupaan bentuk diri (self similarity)* dari suatu obyek (Irianto, 2003).

Mandelbrot (1982) menyatakan bahwa setiap obyek alam berperilaku sebagai fraktal dalam hal ini merupakan hasil kerja gaya yang sama yang bekerja pada berbagai tingkatan skala pada suatu obyek sehingga mengakibatkan iterasi atau pengulangan bentuk dasar (*fractal seed* atau *fractal generator*) yang hasilnya menyatu dalam satu obyek yang bersangkutan. Proses itu dikenal sebagai proses *self similarity* yang bersifat *scale invariant*, artinya diamati dengan skala berapapun bentuk geometrinya maupun dimensinya tetap sama dengan benih

fraktalnya. Stacey (1988, dalam Bakri, 2005) menyebut fraktal sebagai pola keberaturan bentuk yang tersembunyi dalam kekacauan (*hidden patern in chaos*). Keberaturan itu oleh Mandelbrot (1982) diekspresikan sebagai kumulasi dari bagian-bagiannya menurut sekuen beberapa skala pengamatan yang selalu mengikuti hukum fungsi pangkat atau non linear, sehingga obyek fraktal dicirikan oleh dimensinya yang selalu merupakan bilangan pecahan (Bakri, 2005). Geometri Fraktal ini telah dipergunakan hampir di semua bidang bahkan untuk ilmu sosial, ekonomi maupun bidang seni (Peitgen and Richter, 1985; Taylor, Micolich dan Jonas, 1999 dalam Bakri, 2005).

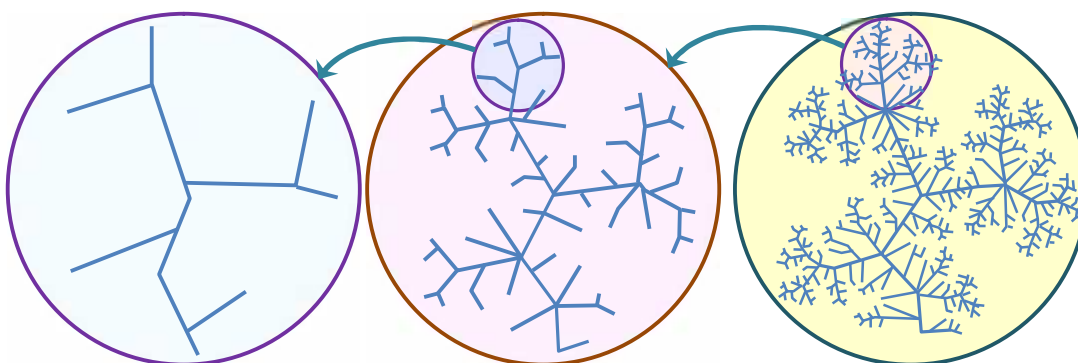
Dalam konteks ilmu hidrologi, dari berbagai penelitian sudah terbukti bahwa sistem jaringan sungai adalah fraktal (Gambar 2.21), artinya bahwa DAS-DAS kecil sebagai bagian dari (sub DAS) DAS-DAS yang lebih besar secara statistik memiliki keserupaan struktur dengan DAS-DAS yang lebih besar (Daya Sagar et al., 1998) (Gambar 2.22). Secara umum bentuk geometri fraktal dinyatakan dalam dimensi (D_f), menyatakan perbandingan antara rasio percabangan sungai (R_B) dan rasio panjang sungai (R_L) yang dibangkitkan dari orde sungai. Dimensi fraktal seringkali juga disebut Dimensi Hausdorf-Bessycovite. Banyak studi telah membuktikan bahwa dimensi fraktal dapat digunakan untuk memodelkan respon hidrologi dari suatu DAS (Fiorentino et al., 2002; Cudennec et al., 2004 dalam Tian et al., 2013).



Gambar 2.21 Jaringan sungai dan dimensi fraktal (Rodrigues-Iturbe et al., 1997)

Dimensi fraktal sungai (DAS) dapat dilihat dari 2 aspek yakni organisasi jaringan hidrologi sungai pada berbagai skala dan lintasan air dalam jaringan hidrologi (Rodrigues-Iturbe et al., 1997 dalam Irianto, 2003). Karakteristik fraktal jaringan hidrologi sungai selalu konstan meskipun dilihat diidentifikasi pada skala yang berbeda dan lintasan air yang menghasilkan debit merupakan produk

konvolusi (*convolution*) curah hujan terhadap fungsi kerapatan jaringan hidrologinya. Dimensi fraktal sungai utama berkisar antara 1.2 sampai 1.4 dan dimensi fraktal jaringan hidrologi sungai berkisar antara 1.4 sampai 1.7 (Irianto, 2003). Sebagaimana disampaikan oleh Torboton (1992), Rosso (1991), Gupta (1993) berdasarkan hasil analisis sungai-sungai di Amerika Serikat dan Eropa mengindikasikan bahwa jaringan hidrologi sungai mempunyai sifat fraktal yang stabil dimanapun dan kapanpun (Irianto, 2003). Oleh karena itu, respon hidrologi suatu sungai (DAS) merupakan fungsi karakteristik fraktalnya.



Gambar 2.22 Tipikal keserupaan bentuk (*self similarity*) jaringan hidrologi sungai analog (diadaptasi dari Daya Sagar et al., 2001)

2.2.4.1 Orde Sungai (*Stream Order*)

Langkah pertama dalam analisis kuantitatif suatu DAS adalah orde sungai (Pareta et al., 2012). Orde sungai (*stream order*) adalah posisi percabangan alur sungai di dalam urutannya terhadap induk sungai pada suatu DAS. Orde sungai menunjukkan tingkat kerapatan jaringan sungai suatu DAS. Orde sungai berpengaruh langsung terhadap proses pembentukan hidrograf (Chow et al., 1988). Semakin banyak jumlah orde sungai, semakin luas dan semakin panjang pula alur sungainya, sehingga jumlah dan panjang sungai tiap tingkat akan berpengaruh langsung terhadap bentuk hidrograf yang terjadi.

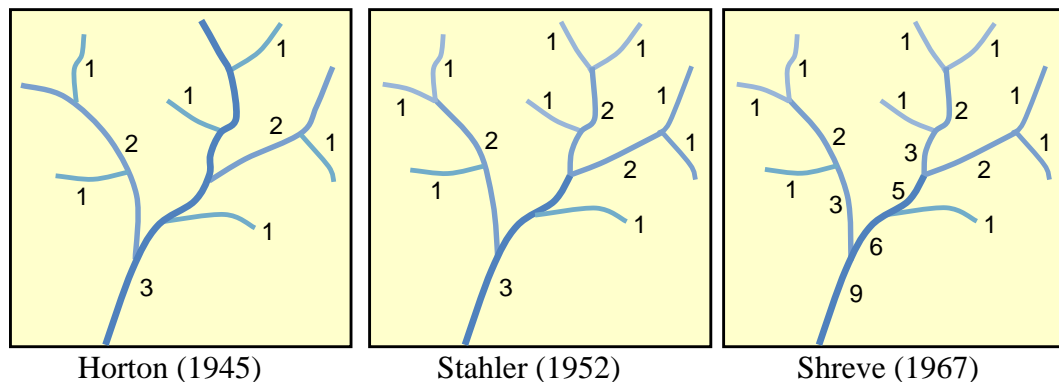
Pengordean sungai merupakan bagian penting dalam analisis morfometri DAS. Prosedur pengordean sungai untuk karakterisasi jaringan sungai dikemukakan oleh Horton (1945), Stahler (1957) dan Shreve (1967) berdasarkan tingkat kerumitan anak-anak sungainya (Daya Sagar et al., 1988) (Gambar 2.23). Namun dalam penerapannya, cara Stahler lebih banyak digunakan dalam

pengordean sungai. Sistem pengordean sungai menurut Stahler diformulasikan sebagai (Daya Sagar et al., 1998):

$$\omega = \max\{i, j, \text{Int}[1 + (1/2)(i + j)]\} \quad (2.12)$$

dengan ω =orde sungai yang dibentuk oleh orde i dan j , i dan j = orde sungai di sebelah hulu dan $\text{Int} []$ menyatakan *integer* dari orde yang dibentuk. Teknik pengordean sungai menurut Stahler, pada dasarnya hasil modifikasi dari cara Horton (Fleurant, 2006), dengan tata cara sebagai berikut:

- 1) Sungai-sungai yang berada paling ujung, sebagai tempat dimulainya aliran air sampai dengan percabangan berikutnya disebut sungai orde pertama
- 2) Apabila dua aliran dari orde yang sama bergabung akan membentuk orde sungai setingkat lebih tinggi
- 3) Jika dua orde sungai yang berbeda bertemu, maka akan membentuk aliran dengan orde sungai yang paling tinggi dari kedua orde tersebut dan demikian seterusnya.

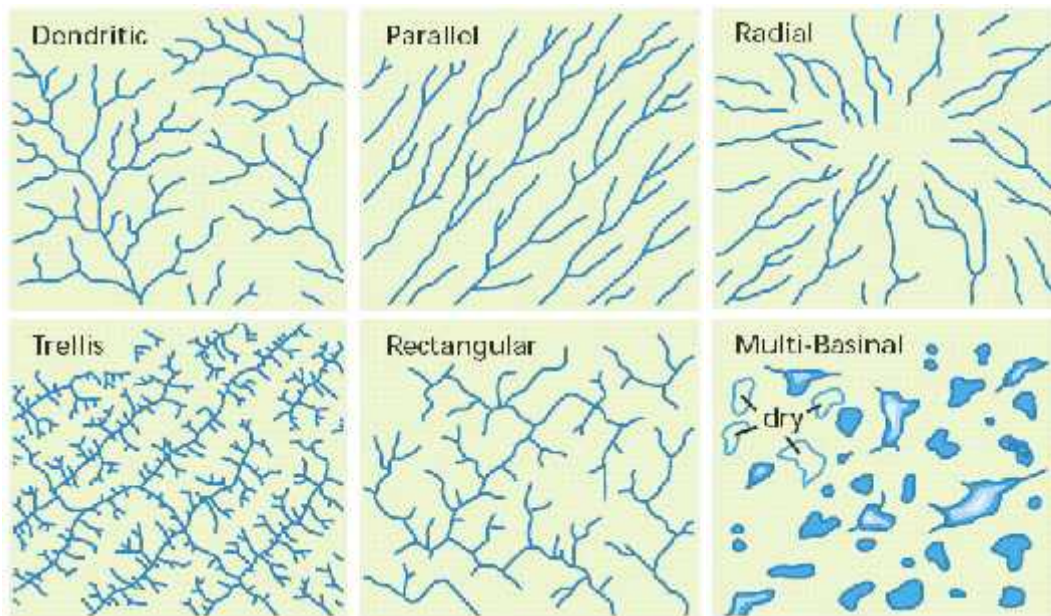


Gambar 2.23 Metode pengordean sungai di DAS (Ritter et al., 2011)

2.2.4.2 Jaringan Sungai

Jaringan sungai (*drainage network*) merupakan elemen penting dari morfometri DAS dalam kaitannya dengan pemodelan hidrograf. Karakteristik jaringan sungai di suatu DAS bergantung kepada pola jaringannya seperti *dendritic, parallel, radial, trellis, rectangular, multi basinal* dan pola-pola lainnya (Gambar 2.24). Pola jaringan sungai dalam suatu DAS dipengaruhi oleh kemiringan, lithologi dan struktur batuan dalam proses pembentukannya (Pareta et al., 2012).

Pola aliran *dendritic* sering diidentikkan dengan bentuk jaringan syaraf (*neuron*), dimana satu sungai terdiri dari banyak anak-anak sungai yang membentuk beberapa orde sungai. Hidrograf pada suatu titik *outlet* di sungai merupakan akumulasi dari debit pada anak-anak sungai di sebelah hulunya. Pola aliran radial merupakan daerah tangkapan berbentuk kipas atau lingkaran dan anak-anak sungainya mengkonsentrasi ke suatu titik secara radial. Pola aliran paralel merupakan gabungan dari dua jalur sub daerah aliran bertemu di bagian hilir yang berbentuk sejajar. Pola-pola aliran seperti *trellis*, *rectangular*, *multi basinal* merupakan juga pola aliran yang membentuk sistem jaringan sungai di DAS walaupun sangat jarang bisa dijumpai.



Gambar 2.24 Pola-pola jaringan sungai (*drainage network pattern*), (FISRWG, 2001)

Jaringan sungai dapat mempengaruhi besarnya debit aliran sungai yang dialirkan oleh anak-anak sungainya. Analisis karakteristik jaringan sungai (*river network*) secara kuantitatif diinisiasi oleh Horton (1945) berkaitan dengan pengordean sungai. Pernyataan kuantitatif Hukum Horton tentang jaringan sungai (*drainage network*) meliputi (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979) *Law of stream numbers*, dinyatakan sebagai rasio percabangan sungai (*bifurcation ratio, R_B*), *Law of stream length*, dinyatakan sebagai rasio panjang sungai (*length ratio, R_L*) dan *Law of stream area*, selanjutnya disebut sebagai rasio luas daerah tangkapan

(area ratio, R_A). Ketiga parameter ini oleh *La Barbera and Rosso* (1989), diasosiasikan (dinyatakan) sebagai parameter dimensi fraktal (Tian et al., 2013).

a) Rasio Percabangan Sungai (R_B)

Jumlah alur sungai suatu orde dapat ditentukan dari angka indeks (rasio) percabangan sungai. Rasio percabangan sungai berkaitan dengan pola percabangan sungai dan didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah ruas sungai pada orde ω , $N(\omega)$ dengan jumlah ruas sungai pada orde yang lebih tinggi berikutnya $N(\omega+1)$ (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979 dan Aparna et al., 2015), dan dinyatakan sebagai:

$$R_B = \frac{N(\omega+1)}{N(\omega)}, \omega = 1, \dots \quad (2.13)$$

R_B : Rasio percabangan sungai, ω : orde sungai dan $\omega+1$: orde tertinggi dari ruas sungai. Menurut Chow, (1964), nilai R_B berbanding lurus dengan kelandaian puncak hidrograf, semakin kecil nilai R_B suatu DAS, maka bentuk hidrograf yang akan dihasilkan semakin pipih dan jika nilai R_B semakin besar, maka bentuk hidrograf yang dihasilkan semakin runcing dimana penurunan dan kenaikan aliran sungai akan berlangsung cepat. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin tinggi Rasio percabangan berarti sungai tersebut memiliki banyak anak-anak sungai dan fluktuasi debit yang terjadi juga semakin besar.

b) Rasio Panjang Sungai (R_L)

Rasio panjang sungai merupakan perbandingan antara panjang rata-rata sungai pada orde $\omega+1$, $L(\omega+1)$ dengan panjang rata-rata sungai pada orde yang lebih rendah $L(\omega)$, dinyatakan dengan:

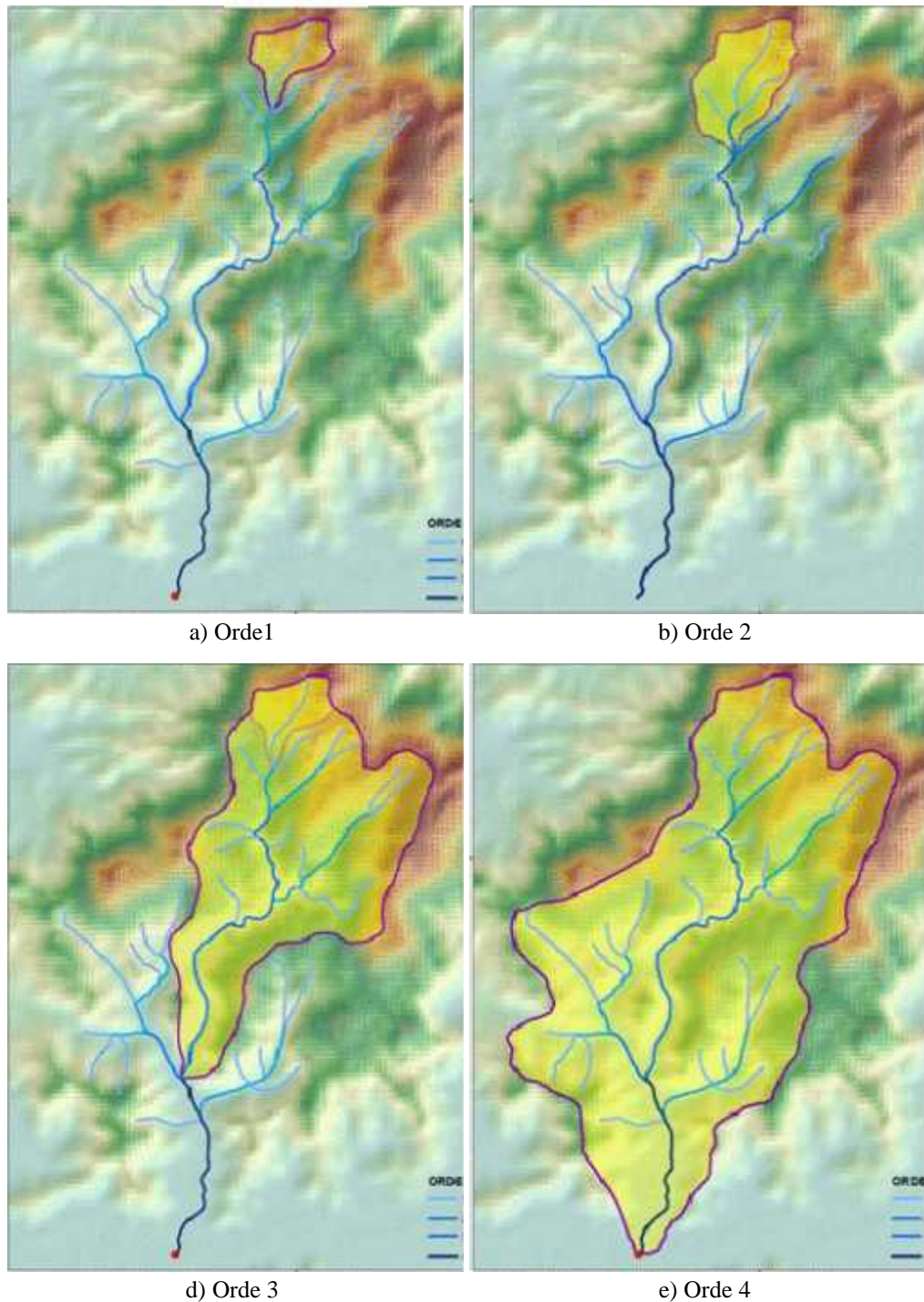
$$R_L = \frac{L(\omega+1)}{L(\omega)}, \omega = 1, \dots \quad (2.14)$$

Parameter R_L tidak bergantung pada ukuran DAS, tetapi ditentukan oleh bentuk DAS.

c) Rasio Luas DAS

$$R_A = \frac{A(\omega+1)}{A(\omega)}, \omega = 1, \dots \quad (2.15)$$

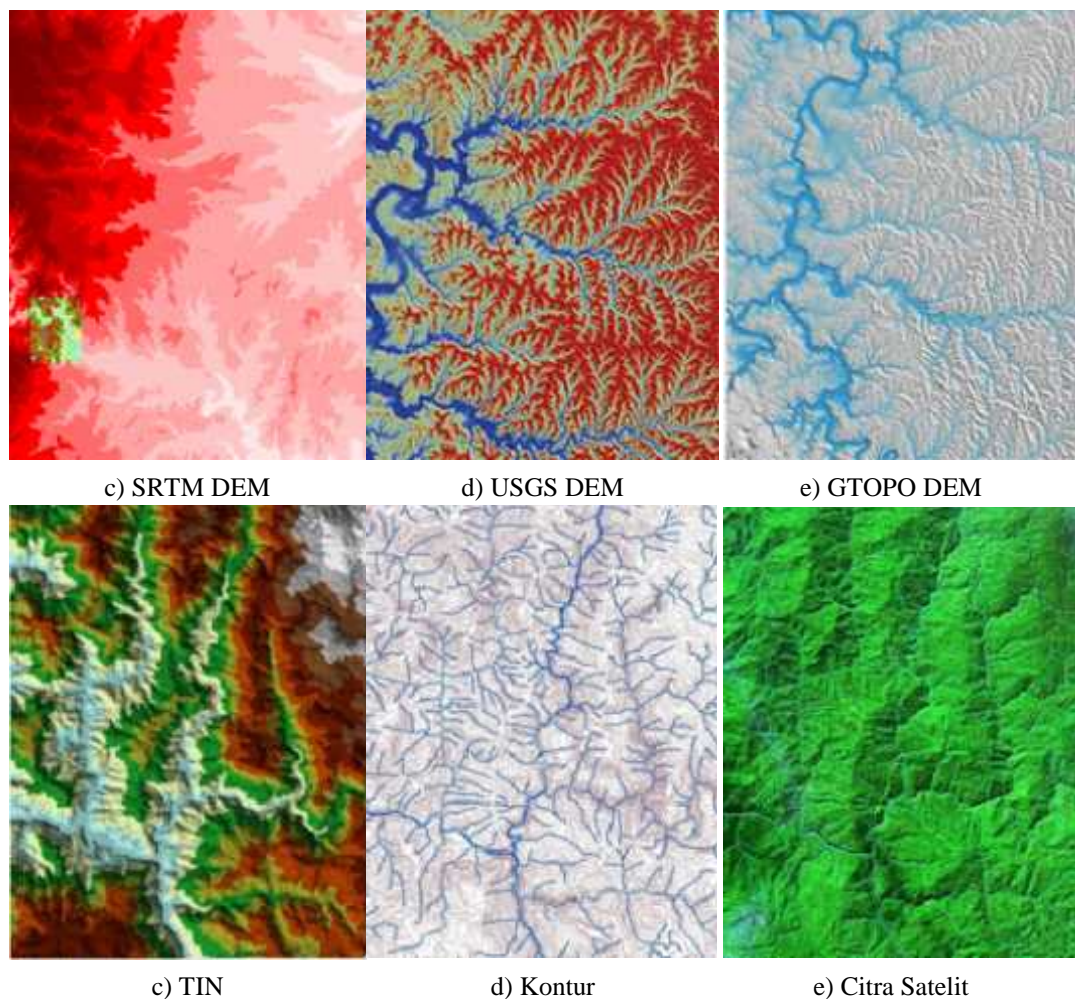
R_A =Rasio luas DAS (sebagaimana yang dikemukakan oleh Schumm, 1956 dalam Daya Sagar et al., 1988), perbandingan antara luas rata-rata sub DAS pada orde sungai ω , $A(\omega + 1)$ dengan luas rata-rata sub DAS pada orde sungai yang lebih rendah, $L(\omega)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Sub DAS berdasarkan orde sungai (BIG, 2015)

Untuk sungai-sungai alami, nilai normal R_B berkisar antara 3–5, R_L antara 1.5–3.5 dan R_A berkisar antara 3–6 (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979 dan Pareta et al., 2012).

Pendefinisian jaringan sungai pada suatu DAS secara spasial dapat dilakukan berdasarkan interpretasi peta *DEM*, *terrain*, *TIN*, kontur atau citra satelit (Gambar 2.26). Ketelitian hasil interpretasi tergantung pada resolusi masing-masing peta atau citra yang digunakan. Semakin tinggi resolusi peta atau citra, maka semakin baik hasil interpretasi jaringan sungai.

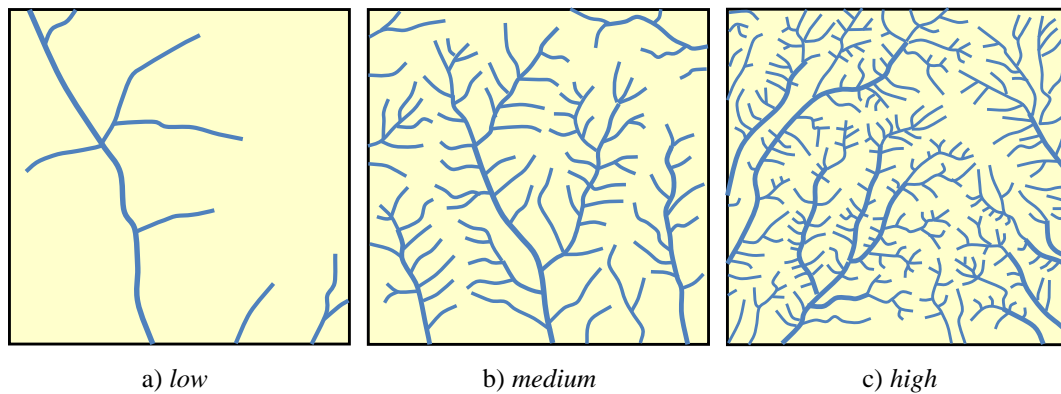


Gambar 2.26 Pendefinisian jaringan sungai berdasarkan beberapa jenis data (ESRI, 2010)

2.2.4.3 Kerapatan Jaringan Sungai

Kerapatan jaringan sungai adalah suatu angka indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai di dalam suatu DAS (Horton, 1945; Strahler, 1952 dan

Melton, 1958 dalam Pareta et al., 2012), yang tergantung pada kondisi iklim dan sifat fisik DAS (Ritter et al., 2011). Angka indeks ini dinyatakan dengan rasio jumlah panjang seluruh ruas sungai (km) terhadap luas DAS (km²). Kerapatan jaringan sungai menggambarkan kapasitas penyimpanan air permukaan dalam cekungan-cekungan seperti danau, rawa dan badan sungai yang mengalir di suatu DAS. Semakin tinggi tingkat kerapatan jaringan sungai, berarti semakin banyak air yang dapat tertampung di badan sungai. Berdasarkan kerapatan jaringan sungai, DAS dapat dibedakan menjadi 4 kelompok yaitu kerapatan rendah ($D < 2$ km/km²), sedang ($2 < D < 2.5$ km/km²), tinggi ($2.5 < D < 3$ km/km²) dan sangat tinggi (> 3 km/km²) (Ratnayake, 2004 dan Malik et al., 2011) (Gambar 2.27)



Gambar 2.27 Klasifikasi kerapatan jaringan sungai (diadaptasi dari Ritter et al., 2011)

DAS dengan topografi terjal cenderung memiliki kerapatan jaringan sungai yang lebih tinggi dari DAS bertopografi landai, dan waktu puncak (T_p) hidrograf yang lebih pendek serta puncak hidrograf yang lebih tajam (*sharper peak discharge*). Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa kerapatan jaringan sungai (D) secara spesifik sangat berpengaruh terhadap T_p dan Q_p (Gambar 2.28).

Frekuensi sungai (F) merupakan perbandingan antara jumlah ruas sungai (N) dengan luas DAS (A). Paramater ini juga menggambarkan sifat DAS dalam mentransformasi aliran yang serupa dengan kerapatan jaringan sungai. Selanjutnya kerapatan jaringan sungai (D , *channel density*) dan frekuensi sungai (F , *channel frequency*) dinyatakan dengan (Daya Sagar et al., 1998):

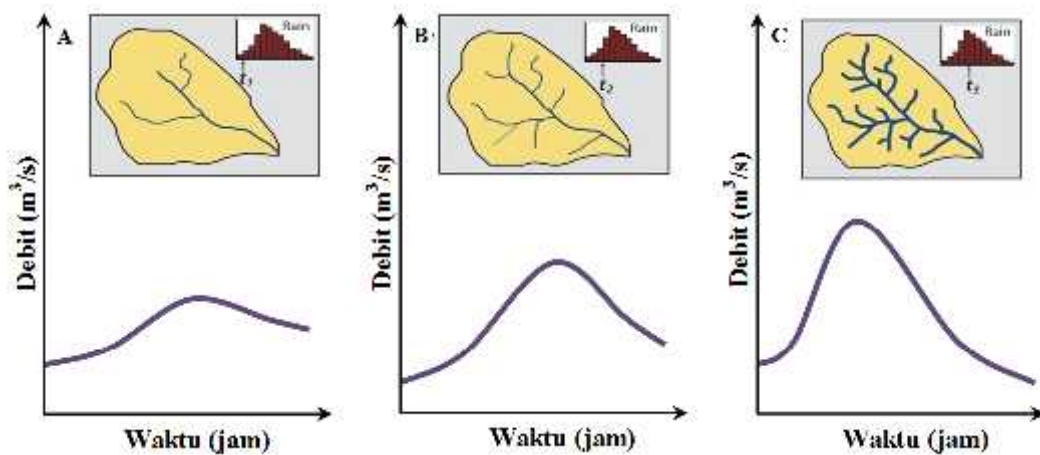
$$D = \frac{L(\omega)}{A(\omega)} \quad (2.16)$$

$$F = \sum_{\omega=1}^{\infty} \frac{\Lambda(\omega, \Omega)}{A(\omega)} \quad (2.17)$$

Hubungan antara frekuensi sungai (F) dengan kerapatan jaringan sungai (D) dinyatakan dengan persamaan (Melton, 1958 dalam Reis, 2006):

$$F(\omega) = 0.694 \frac{D(\omega)^{1.5}}{D(\omega)^2} \quad (2.18)$$

$F(\omega)$ = frekuensi sungai pada orde ω dan $D(\omega)$ = kerapatan jaringan sungai pada orde ω .



Gambar 2.28 Pengaruh kerapatan jaringan sungai terhadap hidrograf (diadaptasi dari Ratnayake, 2004)

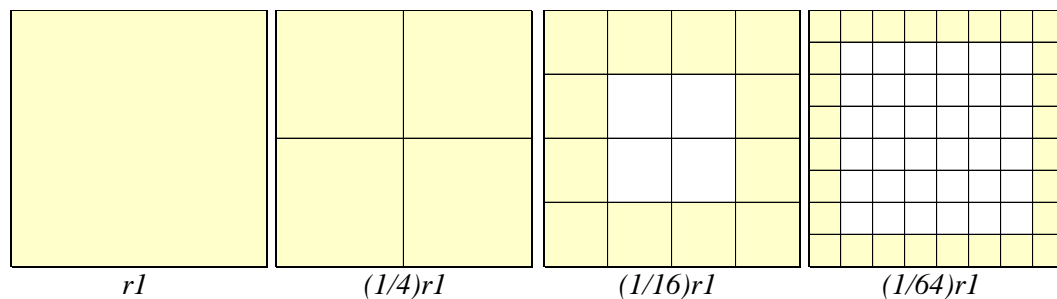
Pada dasarnya Konsep Horton dan Stahler tentang pengorganisasian jaringan sungai memiliki kesesuaian dengan kerangka teori fraktal, dimana Rasio bifurkasi (R_B) dan Rasio panjang sungai (R_L) sebagaimana dikemukakan sebelumnya yang mencerminkan keserupaan diri dari proses cenderung mirip dengan dimensi fraktal. Menggunakan Teori Horton, La Barbera and Rosso (1987, 1989) mengembangkan formula yang menyatakan hubungan antara Parameter Horton (R_B dan R_L) dengan dimensi fraktal D_f dari suatu jaringan sungai (Maitre and Pinciroli, 1997) berdasarkan beberapa sampel sungai yang memperoleh dimensi fraktal antara 1.6-2.0 dengan nilai rerata antara 1.5 dan 1.7 (De Bartolo et al., 2000) :

$$D_f = \frac{1}{\log} \frac{R_B}{R_L} \quad (2.19)$$

Selain menggunakan formula tersebut, dimensi fraktal dapat juga dihitung menggunakan metode lain seperti *Divider Method* (Richardson, 1961) dan *Box Counting Dimension* (Grassberger, 1983) sebagaimana disampaikan oleh Tian (2013). *Divider Method* dipergunakan pertama kali oleh Richardson (1961) untuk menghitung dimensi fraktal garis pantai dan selanjutnya dipergunakan oleh peneliti lain seperti Snow (1989) dan Montgomery (1996) untuk menentukan dimensi fraktal objek-objek alam lainnya (Tian et al., 2013). *Box Counting Dimension* dikembangkan secara grafis menggunakan data DEM suatu DAS, selanjutnya dihitung dengan persamaan:

$$D_f = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N(r)}{\log (1/r)} \quad (2.20)$$

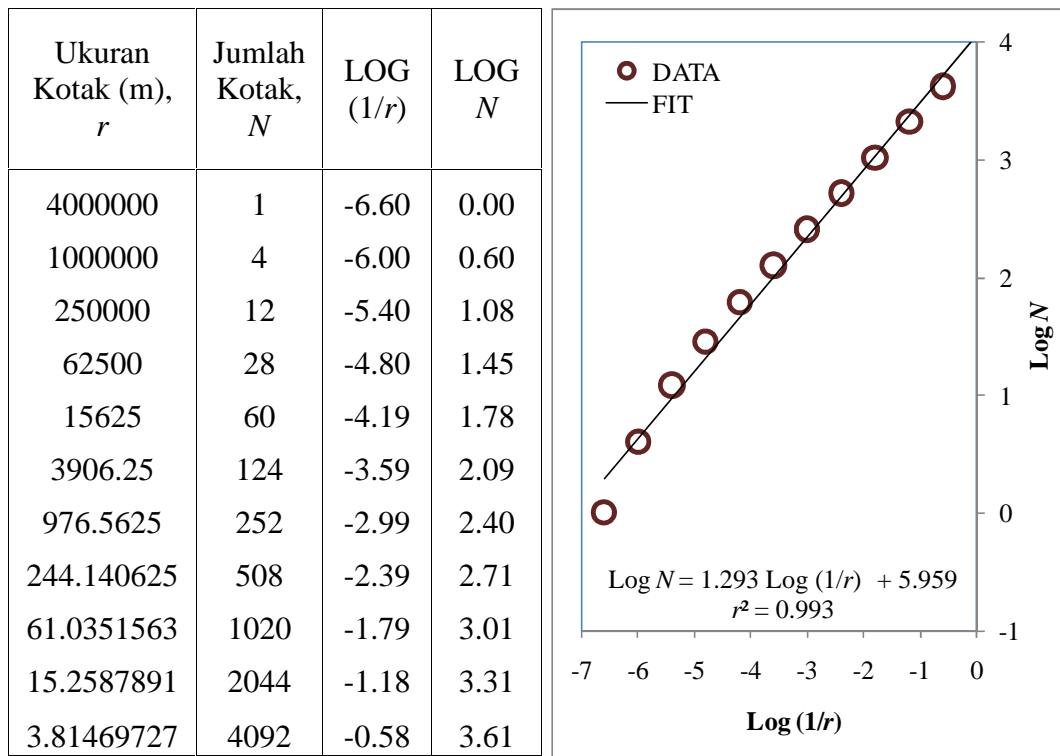
$N(r)$ merupakan jumlah kotak (*box*) yang melingkupi jaringan sungai dan r adalah ukuran kotak (*box*). Prosedur hitungan $N(r)$ diulangi sampai ukuran kotak (*box*) mendekati 0 kemudian diplot dalam grafik log – log untuk mendapatkan dimensi fraktal sebagai gradien (kemiringan) dari garis pada grafik log – log (Tricot, 1996 dalam Kusumayudha et al., 2000).



Gambar 2.29 Pembagian kotak berdasarkan *Box Counting Dimension*

Untuk mempermudah pemahaman ini maka, jaringan sungai dapat diilustrasikan berbentuk kotak persegi seperti Gambar 2.29 berikut ini. Sebuah kotak persegi berukuran sembarang (misalkan 1000000 meter) berimpitan dengan garis sungai tersebut. Selanjutnya kotak dibagi menjadi 4 dan hasil berikutnya juga dibagi 4 sampai ukuran kotak mendekati 0, dan dihitung jumlah kotak pada masing-masing pembagian. Hubungan antara ukuran kotak (r) dan jumlah kotak (N) selanjutnya dituangkan dalam bentuk grafik (Gambar 2.30) setelah nilainya dikonversi kedalam logaritma, memberikan hubungan linier dengan koefisien

determinasi sebesar 0.993. Gradien dari garis regresi tersebut sebesar 1.293 merupakan dimensi fraktal jaringan sungainya.



Gambar 2.30 Hubungan antara ukuran (r) dan jumlah kotak (N)

2.2.5 Analisis Regresi

Analisis statistika yang sering dimanfaatkan untuk melihat hubungan antara dua atau lebih variabel yang saling berkorelasi dan memiliki hubungan *casual* dalam suatu DAS adalah analisis regresi (Asdak, 2007). Hubungan antara dua atau lebih variabel dinyatakan dalam bentuk persamaan regresi, yang menyatakan hubungan antara variabel bebas (*independent variabel*) atau prediktor dan variabel tak bebas (*dependent variabel*) atau respon (Walpole et al., 2012). Secara umum teknik analisis regresi (khususnya regresi linier) dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu regresi linier sederhana (*simple linear regression*) dan regresi linier berganda (*multiple linear regression*). Istilah linier dapat di artikan dengan dua cara yang berbeda, yaitu (Gujarati, 1995 dalam Fitri, 2014) linier dalam variabel dan linier dalam parameter. Namun secara umum regresi linier selalu diartikan dengan suatu regresi linier dalam parameter (), tetapi mungkin mungkin saja linier atau tidak linier dalam variabel.

Dalam pengembangan model HSS, analisis regresi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk membentuk persamaan model (Blazkova and Beven, 1995 dalam Montarcih, 2009 dan Supriya et al., 2015). Dalam skala yang lebih luas, statistik regresi merupakan salah satu cara yang umum digunakan untuk menganalisa model hidrologi (Sri Harto, 2000). Cara ini dipakai mengingat DAS memiliki kompleksitas dan heterogenitas yang sedemikian rupa sehingga sangat sulit (bahkan hampir tidak mungkin) untuk mengenali parameternya secara rinci, dalam arti pengaruh suatu parameter terhadap salah satu komponen prosesnya (Montarcih, 2009). Oleh karena itu, setiap parameter yang berpengaruh dapat diidentifikasi menggunakan cara ini dengan melihat korelasi antar variabel-variabelnya.

Mengingat beragam dan kompleksitas variabel yang mempengaruhi parameter model HSS, maka teknik analisis regresi yang dapat digunakan adalah regresi linier berganda (*multiple linear regression*). Hal ini berarti bahwa variabel tak bebas dipengaruhi oleh lebih dari satu variabel bebas. Apabila sejumlah m variabel membentuk suatu hubungan, satu variabel tak bebas (y) dengan sejumlah (n) buah variabel bebas x , maka persamaan umum untuk menyatakan model regresi linier berganda adalah :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon \quad (2.21)$$

y = variabel respon, x_i = variabel prediktor, ϵ = sisa (*error*), $i = 1, 2, \dots, n$. Nilai koefisien $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ dapat diperoleh dengan metode kuadrat terkecil (*least square methods*), dengan cara meminimumkan jumlah kuadrat sisa (*error*), sebagai berikut:

$$S = \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.22a)$$

$$S = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_n x_{ni})^2 \quad (2.22b)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} \right)^2 \quad (2.22c)$$

Dengan k adalah banyaknya variabel bebas. Selanjutnya Pers. 2.22b didiferensialkan terhadap masing-masing koefisien $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ sehingga diperoleh (Walpole et al., 2012):

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_n x_{ni}) = 0 \quad (2.23a)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n x_{1i} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_n x_{ni}) = 0 \quad (2.23b)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_2} = -2 \sum_{i=1}^n x_{2i} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_n x_{ni}) = 0 \quad (2.23c)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_n} = -2 \sum_{i=1}^n x_{ni} (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_n x_{ni}) = 0 \quad (2.23d)$$

Bila disederhanakan maka:

$$\sum_{i=1}^n y_i = n\beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + \dots + \beta_n \sum_{i=1}^n x_{ni} \quad (2.24a)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{1i} y_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{1i} + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \dots + \beta_n \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ni} \quad (2.24b)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{2i} y_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{2i} + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 + \dots + \beta_n \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ni} \quad (2.24c)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ni} y_i = \beta_0 \sum_{i=1}^n x_{ni} + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ni} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ni} + \dots + \beta_n \sum_{i=1}^n x_{ni}^2 \quad (2.24d)$$

Dinyatakan dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_{ni} y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ni} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ni} \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ni} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n x_{ni} & \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{ni} & \sum_{i=1}^n x_{2i} x_{ni} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ni}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i \\ \dots \\ \sum_{i=1}^n x_{ni} y_i \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Selanjutnya koefisien $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ dapat dihitung dengan operasi matriks.

Penyelesaian persamaan tersebut dikenal dengan Metode Kuadrat Terkecil (*least square methods*). Metode kuadrat terkecil pertama kali diperkenalkan oleh Gauss-Markov pada Tahun 1822 (Fitri, 2014). Gauss-Markov menyatakan bahwa metode kuadrat terkecil dapat digunakan untuk mengestimasi parameter regresi dengan cara meminimumkan jumlah kuadrat *error*. Metode kuadrat terkecil tersebut akan menghasilkan nilai dugaan parameter yang baik jika memenuhi syarat-syarat sebagai penduga parameter yang baik, yaitu harus bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Sifat-sifat BLUE tersebut adalah penduga tak bias dan varian minimum. Setelah meminimumkan jumlah kuadrat error akan diperoleh nilai koefisien dari parameter regresi.

2.2.5.1 Determinasi

Determinasi dalam statistik dapat diinterpretasi sebagai proporsi dari variasi yang ada pada variabel tak bebas yang dapat dijelaskan oleh persamaan regresi dan dinyatakan dengan koefisien determinasi (Asdak, 2007 dan Kottegoda et al., 2008). Cara ini merupakan salah satu metode untuk menentukan seberapa jauh model matematis regresi mampu menjabarkan data yang ada. Koefisien determinasi (r^2) menunjukkan seberapa jauh kesalahan dalam memperkirakan besarnya variabel tak bebas (y) yang dapat direduksi menggunakan informasi yang dimiliki variabel bebas (x). Model regresi akan semakin baik bila koefisien determinasi mendekati 1 dan sebaliknya semakin buruk jika koefisien determinasi mendekati 0. Koefien determinasi dinyatakan dengan persamaan:

$$r^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \frac{1}{n} (\sum x_i) (\sum y_i) \right]^2}{\left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \right] \left[\sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2 \right]} \quad (2.26)$$

2.2.5.2 Korelasi

Hubungan antara variabel bebas dan variabel tak bebas dinyatakan dengan korelasi. Korelasi menyatakan hubungan kuantitatif antara dua variabel yang diukur pada skala ordinal atau interval (Fowler dan Cohen, 1993 dalam Asdak, 2007). Analisis korelasi adalah bentuk analisis yang digunakan untuk

mengukur kekuatan (*strength*) atau tingkat hubungan linier (*degree of linear association*) antara dua variabel, yang dinyatakan dengan koefisien korelasi (r). Besarnya koefisien korelasi menunjukkan kuatnya korelasi linier antara dua variabel, dengan nilai berkisar antara 0 sampai 1. Koefien korelasi dinyatakan dengan persamaan:

$$r = \frac{\sum(x_i y_i) - \frac{1}{n}(\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{\left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n}(\sum x_i)^2\right] \left[\sum y_i^2 - \frac{1}{n}(\sum y_i)^2\right]}} \quad (2.27)$$

2.2.5.3 Uji Statistik Regresi

Pada prinsipnya, langkah-langkah pengujian statistik untuk mengevaluasi persamaan regresi, dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu: pengujian statistik model regresi dan pengujian asumsi residual.

(a) Pengujian Statistik Model Regresi

Pengujian statistik model regresi dapat dilakukan pengujian koefisien determinasi (Uji F), pengujian koefisien regresi dan pengujian interval kepercayaan koefisien regresi. Persamaan Uji F untuk menguji koefisien determinasi dinyatakan dengan (Walpole et al., 2012) :

$$F_{hit} = \frac{r^2(n-m)}{(1-r^2)(m-1)} \quad (2.28)$$

dengan F =nilai Uji F terhitung, r^2 =koefisien determinasi, n =jumlah pengamatan, m =jumlah total variabel bebas. Untuk melakukan pengujian ini dibangun hipotesis sebagai berikut:

$H_0: r^2 = 0$, tidak ada hubungan antara variabel yang digunakan dalam model (tidak berbeda nyata dengan 0)

$H_1: r^2 \neq 0$, ada hubungan nyata antara variabel yang digunakan dalam model (berbeda nyata dengan 0)

Apabila $F_{hit} > F_{tab}$, maka H_0 ditolak dan gagal tolak H_1 dan sebaliknya

Pengujian koefisien regresi dilakukan untuk membuktikan apakah koefisien regresi $a_1=0$ atau tidak, menggunakan persamaan:

$$t_{hit} = \frac{a_1 - a_0}{S_{a_1}} \quad (2.29a)$$

$$S_{a_1} = \frac{SE_y}{\left\{ \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}^{1/2}} \quad (2.29b)$$

dengan t_{hit} = nilai uji t hitungan, a_1 = koefisien regresi, a_0 = koefisien regresi yang telah diketahui, S_{a_1} = deviasi koefisien regresi, SE_y = kesalahan standar dari perkiraan nilai y , x_i = variabel bebas ke- i , dan \bar{x} = nilai rata-rata variabel bebas. Untuk melakukan pengujian ini dibangun hipotesis sebagai berikut:

$H_0: a_1 = 0$, koefisien regresi tidak berbeda nyata dengan 0

$H_1: a_1 \neq 0$, koefisien regresi berbeda nyata dengan 0

Pengujian statistik model regresi yang terakhir adalah uji interval (selang) kepercayaan. Pengujian ini untuk melakukan pendugaan terhadap nilai a_1 dengan kepercayaan 95% diterima, menggunakan persamaan:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{inferensi} \\ \text{interval} \end{array} \right\} \left(\frac{a_1 - t_{hit} S_{a_1}}{a_1 + t_{hit} S_{a_1}} \right) < \frac{a_1}{a_1} < \left\{ \begin{array}{l} \text{inferensi} \\ \text{interval} \end{array} \right\} \left(\frac{a_1 + t_{hit} S_{a_1}}{a_1 - t_{hit} S_{a_1}} \right) \quad (2.30)$$

(b) Pengujian Asumsi Residual

Pengujian asumsi residual dilakukan untuk melihat apakah terjadi pelanggaran pada asumsi yang digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan Uji Normalitas Residual, Uji Autokorelasi Residual dan Uji Homogenitas Varian Residual (Kottegoda et al., 2008). Penyimpangan pada asumsi dasar dapat mengakibatkan estimasi koefisien menjadi kurang akurat dan dapat menimbulkan interpretasi dan kesimpulan yang salah.

Uji normalitas residual berfungsi untuk mengetahui apakah residual berdistribusi normal atau tidak. Asumsi yang digunakan adalah residual terdistribusi normal. Untuk melihat apakah residual terdistribusi normal atau tidak dapat dilakukan dengan membuat histogram residual.

Autokorelasi adalah terjadinya korelasi antara satu variabel *error* dengan variabel *error* yang lain. Adapun dampak dari adanya autokorelasi dalam model regresi yaitu walaupun estimator metode kuadrat terkecil masih linier dan tidak bias, tetapi tidak lagi mempunyai variansi yang minimum dan menyebabkan perhitungan standard *error* metode kuadrat terkecil tidak bisa

dipercaya kebenarannya. Selain itu interval estimasi maupun pengujian hipotesis yang didasarkan pada distribusi t maupun F tidak bisa lagi dipercaya untuk evaluasi hasil regresi. Akibat dari dampak adanya autokorelasi dalam model regresi menyebabkan estimator metode kuadrat terkecil tidak menghasilkan estimator yang BLUE dan hanya menghasilkan estimator metode kuadrat terkecil yang LUE. Selanjutnya untuk mendeteksi adanya autokorelasi dalam model regresi linier berganda dapat digunakan metode Durbin-Watson. Durbin-Watson telah berhasil mengembangkan suatu metode yang digunakan untuk mendeteksi adanya masalah autokorelasi dalam model regresi linier berganda menggunakan pengujian hipotesis dengan statistik uji, dengan persamaan.:

$$d_{hit} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (e_i - e_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (2.31)$$

dengan d_{hit} = nilai Durbin-Watson dan $\sum e_i^2$ = jumlah kuadrat sisa. Nilai Durbin-Watson kemudian dibandingkan dengan nilai d_{tab} . Hipotesis yang dibangun untuk uji ini adalah:

H_0 : tidak ada autokorelasi

H_1 : ada autokorelasi positif atau negatif

Apabila $d_{hit} > d_{tab}$, maka H_0 ditolak dan gagal tolak H_1 dan sebaliknya

Uji homogenitas residual, dilakukan dengan melihat penyebaran residual dalam hal ini homoskedastisitas dan heterokedastisitas. Uji ini mensyaratkan ragam *error* bersifat seragam atau merata (homoskedastisitas). Varians dari variabel bebas adalah sama atau konstan untuk setiap nilai tertentu dari variabel bebas lainnya, atau variasi residu sama untuk semua pengamatan

2.2.6 Analisis Kinerja Model

Analisis kinerja model dilakukan untuk melihat keberhasilan model dalam merepresentasikan debit di sungai, yang dievaluasi dengan uji perbandingan antara debit pengukuran dengan debit simulasi menggunakan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E), (Nash dan Sutcliffe, 1970 dalam Cheng et al., 2013) sebagai:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (2.32)$$

Nilai-nilai indikator kesalahan berkisar antara $\infty - 1$. Semakin rendah nilai indikator kesalahan, maka model yang dihasilkan memiliki kinerja yang rendah dan sebaliknya apabila nilai indikator kesalahan semakin tinggi mendekati 1 maka kinerja model semakin tinggi. Secara umum kinerja model dianggap baik jika nilai indikator kesalahan maksimal 10 % (Subramanya, 1995). Selain itu juga dievaluasi penyimpangan waktu puncak (T_p), debit puncak (Q_p) dan waktu dasar (T_b).

$$PQP = \frac{Q_p - Q_{p_{obs}}}{Q_{p_{obs}}} \quad (2.33a)$$

$$PTP = \frac{T_p - T_{p_{obs}}}{T_{p_{obs}}} \quad (2.34b)$$

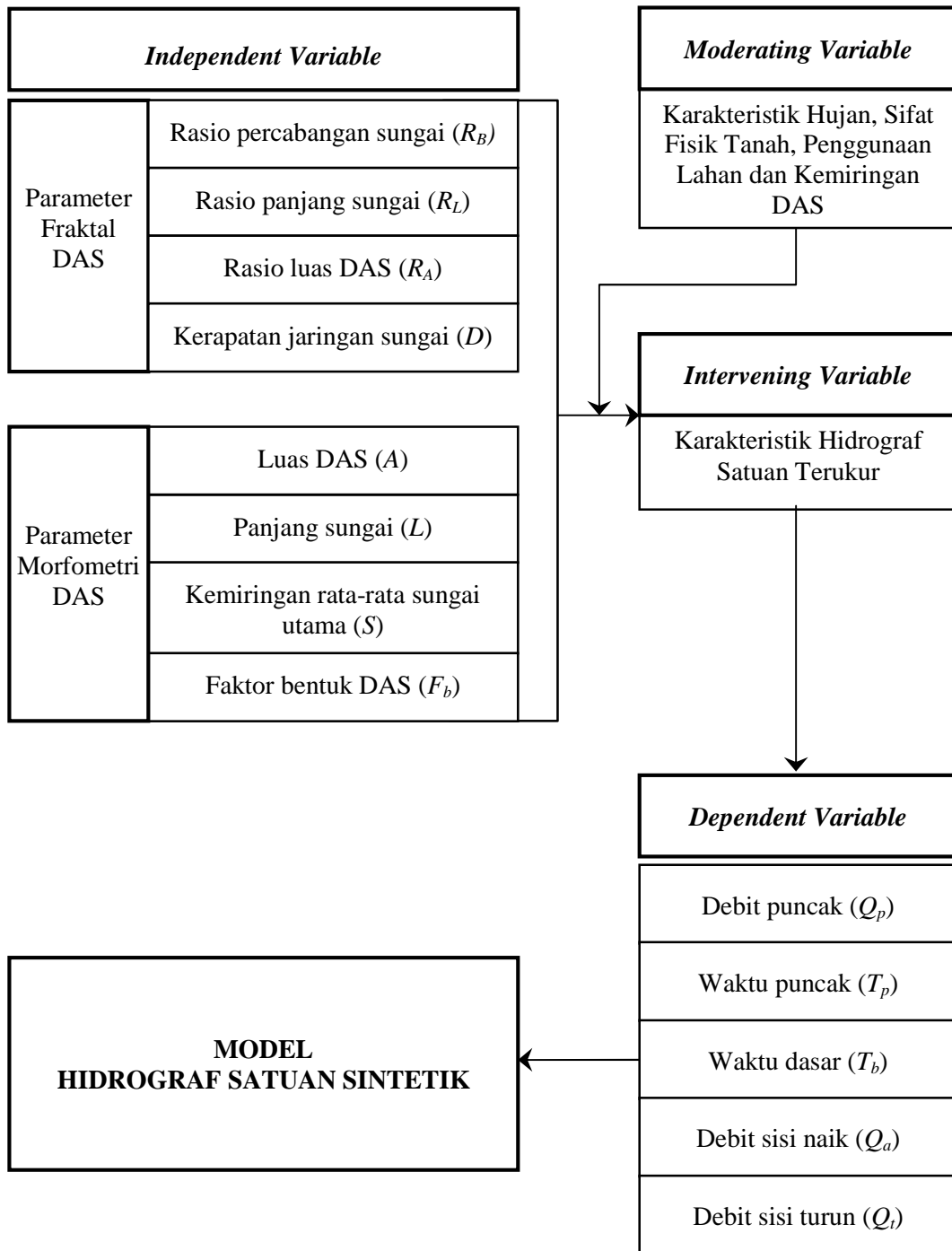
$$PTb = \frac{T_b - T_{b_{obs}}}{T_{b_{obs}}} \quad (2.35c)$$

2.3 Kerangka Dasar Konsep Penelitian/*Conceptual Framework*

Penelitian ini didasarkan pada kerangka dasar masukan (*input*), proses (*process*) dan keluaran (*output*), berdasarkan beberapa parameter sebagaimana telah disampaikan sebelumnya. Parameter-parameter yang akan digunakan dalam pemodelan ini dibedakan menjadi 4 parameter. Keempat variabel tersebut yakni variabel bebas (*independent variable*) sebagai masukan (*input*), *intervening variable* dan variabel penengah (*moderating variable*), merupakan variabel berpengaruh tetapi tidak dimasukkan sebagai masukan karena variabilitasnya sangat tinggi dan sulit untuk dikuantifikasi dan variabel tak bebas (*dependent variabel*) merupakan variabel keluaran model.

Variabel bebas dinyatakan dengan beberapa parameter terdiri dari parameter fraktal dan morfometri DAS. Parameter fraktal meliputi rasio percabangan sungai (R_B), rasio panjang sungai (R_L), rasio luas DAS (R_A) dan kerapatan jaringan sungai (D). Parameter lainnya (morfometri) meliputi luas DAS

(A), panjang sungai (L), kemiringan rata-rata sungai utama (S) dan faktor bentuk DAS (F_b). Variabel penengah meliputi distribusi dan arah pergerakan hujan, karakteristik tanah, dan penutup lahan dan parameter lainnya. Variabel keluaran merupakan parameter hidrograf satuan sintetik meliputi debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p), waktu dasar (T_b), debit sisi naik (Q_a) dan sisi turun (Q_t). Variabel-variabel tersebut dapat dituangkan dalam kerangka konseptual (*framework conceptual*) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.31.



Gambar 2.31 Kerangka konseptual penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODE PENELITIAN



BAB 3

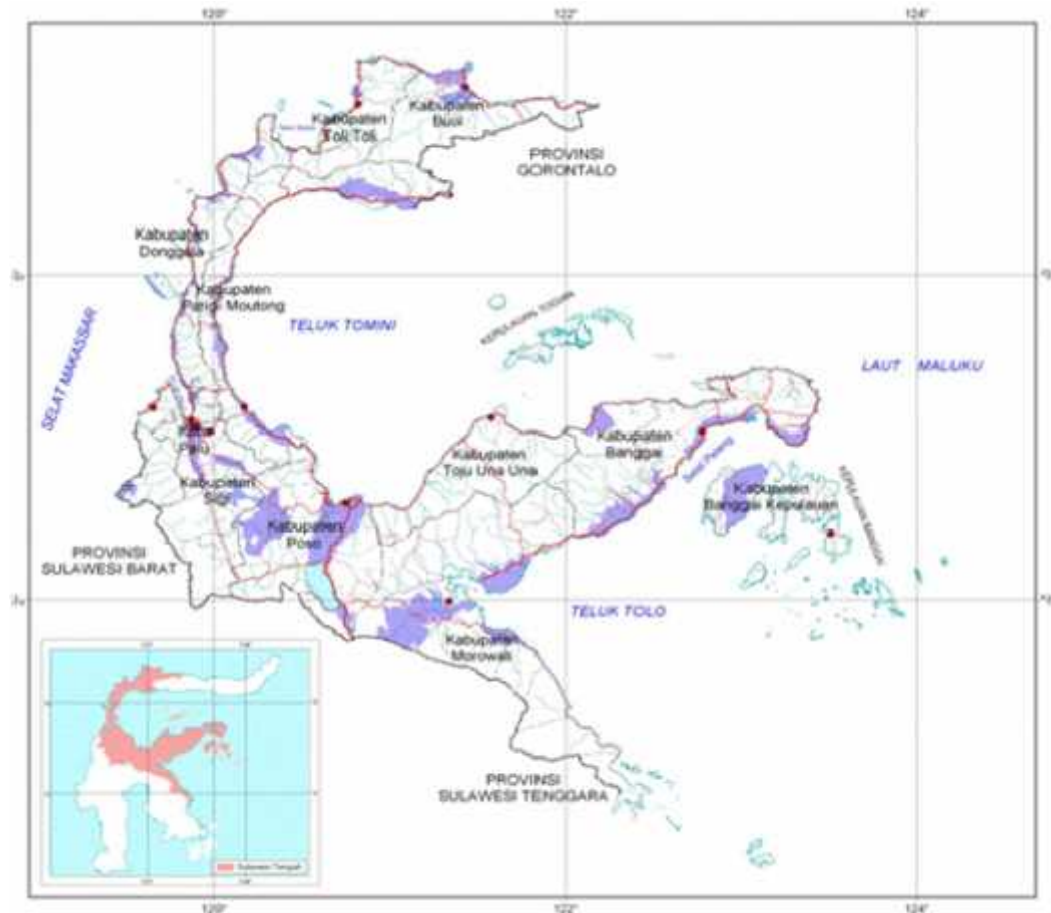
METODE PENELITIAN

3.1. Bahan dan Instrumen Penelitian

Bahan utama penelitian ini adalah data hidrologi khususnya data hujan jam-jaman dan tinggi muka air jam-jaman (AWLR), serta data topografi berupa Peta RBI, Peta SRTM dan Peta Tata Guna Lahan. Data-data diambil berdasarkan data sungai (DAS) di Sulawesi Tengah (Gambar 3.1). Pemilihan data/lokasi di Sulawesi Tengah didasarkan atas (1) Karakteristik sungai terutama profil memanjang (kemiringan dasar) relatif berbeda dengan sungai-sungai di Pulau Jawa dan beberapa tempat lainnya di Indonesia, dimana sungai-sungai di Sulawesi Tengah memiliki kemiringan rata-rata relatif lebih terjal bila dibandingkan dengan sungai-sungai di Pulau Jawa, (2) DAS-DAS yang ada di Sulawesi Tengah dominan memiliki luas tergolong menengah 1000 km^2, dengan demikian untuk keperluan pemodelan hidrograf kondisi ini sangat sesuai terkait dengan asumsi bahwa distribusi hujan merata di seluruh DAS lebih terwakili pada DAS menengah sampai kecil, (3) Ketersediaan data hidrologi (hujan dan AWLR) relatif memadai untuk analisis, (4) Sepengetahuan penulis, sampai saat ini belum ada peneliti yang menggunakan data sungai di Sulawesi Tengah untuk pemodelan hidrograf terutama kombinasi parameter morfometri yang berkaitan dengan sifat fraktal DAS, (5) Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, beberapa HSS yang umum digunakan di Indonesia memiliki kinerja yang relatif rendah bila diterapkan di Sulawesi Tengah.

Berdasarkan KEPPRES No. 12 Tahun 2012 Tentang Penetapan Wilayah Sungai, wilayah administrasi Sulawesi Tengah dikelompokkan menjadi 6 Wilayah Sungai (WS) yaitu WS Palu Lariang, WS Parigi Poso, WS Laa Tambalako, WS Bongka Mentawa, WS Lambunu Buol dan WS Kepulauan Banggai. Sebagian besar DAS-DAS yang masuk dalam keenam WS tersebut, mengalirkan air sepanjang tahun dengan debit yang berfluktuasi (sungai *perennial*) dan sebagian kecil lainnya, hanya mengalirkan air pada musim penghujan (sungai *intermittent* atau *ephemeral*). Berdasarkan hasil identifikasi dan studi pendahuluan terdapat

minimal 8 DAS yang memiliki data pengukuran hujan dan AWLR yaitu DAS Bahomoleo, DAS Pinamula, DAS Toaya, DAS Bangga, DAS Singkoyo, DAS Tambun, DAS Malino dan DAS Bunta



Gambar 3.1 Wilayah administrasi Sulawesi Tengah dan jaringan sungainya (Sumber: BAPPEDA Provinsi Sulawesi Tengah, 2010)

Instrumen (peralatan) yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa perangkat lunak untuk mengolah dan menganalisis data. Perangkat lunak yang dimaksud adalah perangkat lunak pengolah data topografi untuk menganalisis karakteristik fraktal dan morfometri DAS yaitu ArcGIS dan perangkat lunak pemodelan statistik yaitu *Mini Tab* dan *R (The R Foundation for Statistical Computing)* untuk menyusun Model HSS.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang akan diteliti sebagaimana telah disampaikan sebelumnya meliputi variabel masukan (*independent variable* dan *dependent*

variable). Variabel masukan merupakan variabel yang diukur dari karakteristik fraktal dan morfometri DAS. Keterangan lebih rinci mengenai variabel-variabel tersebut adalah seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sebagai berikut ini:

Tabel 3.1 Variabel masukan (*independent variable*)

No.	Nama Variabel	Keterangan
1	Rasio percabangan sungai (R_B)	Perbandingan antara jumlah ruas sungai pada orde ω , $N(\omega)$ dengan jumlah ruas sungai pada orde yang lebih tinggi berikutnya $N(\omega + 1)$
2	Rasio panjang sungai (R_L)	Perbandingan antara panjang rata-rata sungai pada orde $(\omega + 1)$, $L(\omega + 1)$ dengan panjang rata-rata sungai pada orde yang lebih rendah $L(\omega)$
3	Rasio luas DAS (R_A)	Perbandingan antara luas rata-rata sub DAS pada orde sungai ω , $A(\omega + 1)$ dengan luas rata-rata sub DAS pada orde sungai yang lebih rendah, $A(\omega)$
4	Kerapatan jaringan sungai (D)	Perbandingan panjang seluruh ruas sungai (L) dengan luas DAS (A)
5	Luas DAS (A)	Luas daerah yang dibatasi oleh garis pembatas DAS dengan acuan titik <i>outlet</i> .
6	Panjang sungai utama (L)	Panjang sungai utama dari hulu sampai di titik <i>outlet</i> .
7	Kemiringan sungai utama (S)	Perbandingan antara selisih elevasi titik hulu dan titik <i>outlet</i> dengan panjang sungai utama
8	Faktor bentuk DAS (F_b)	Rasio antara luas DAS (A) dengan kuadrat panjang DAS (L_B)

Tabel 3.2 Variabel keluaran (*dependent variable*)

No.	Nama Variabel	Keterangan
1	Debit puncak (Q_p)	Debit maksimum atau debit pada puncak hidrograf
2	Waktu puncak (T_p)	Waktu mulainya sisi naik (<i>rising limb</i>) sampai tercapainya debit puncak hidrograf
3	Waktu dasar (T_b)	Waktu dasar merupakan waktu yang diukur dari titik mulai terjadinya sisi naik hidrograf sampai titik berhentinya pengaruh limpasan langsung pada sisi resesi

Lanjutan Tabel 3.2 Variabel keluaran (*dependent variable*)

No.	Nama Variabel	Keterangan
4	Debit sisi naik (Q_a)	Debit pada sisi naik hidrograf
5	Debit sisi resesi (Q_t)	Debit pada sisi turun hidrograf

Adapun hubungan antara variabel masukan dan keluaran dinyatakan dengan asumsi seperti pada Tabel 3.3 berdasarkan kajian-kajian yang telah dilakukan pada Studi Pustaka, namun selanjutnya hubungan ini akan diuji dengan parameter korelasi.

Tabel 3.3 Hubungan antara variabel masukan dan keluaran

No.	Variabel Keluaran	Variabel Masukan
1	Debit puncak (Q_p)	$f(L, F_b, D, R_L, R_B \text{ dan } R_A)$ atau T_p
2	Waktu puncak (T_p)	$f(L, F_b, D, R_L, R_B \text{ dan } R_A)$
3	Waktu dasar (T_b)	$f(A, L, S, F_b, R_B, R_L, R_A)$
4	Debit sisi naik (Q_a)	Q_p
5	Debit sisi resesi (Q_t)	Q_p

3.3. Cara Pengukuran Variabel

Cara pengukuran variabel dalam hal ini variabel masukan, didasarkan pada data topografi dalam hal ini Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) atau dari data DEM dengan resolusi yang memadai. Data DEM dikonversi dari data SRTM (Owusu, 2014) untuk melengkapi obyek-obyek (garis kontur, jaringan sungai dan obyek lainnya) pada Peta RBI yang tertutup awan atau yang tidak terekam. Setiap variabel dihitung atau diukur berdasarkan *feature* DAS yang diteliti menggunakan analisis sistem informasi geografis (GIS) dalam hal ini ArcGIS 10, meliputi titik (*point*), garis (*line*) dan poligon (*polygon*). *Feature* titik mewakili posisi alat ukur hidrologi dan hidrometri, *feature* garis mewakili panjang sungai atau segmen sungai dan objek dan *feature* poligon mewakili luas DAS atau sub DAS. Pengukuran *features-features* tersebut dilakukan menggunakan fasilitas *Editor* atau *Toolbox* yang tersedia di ArcGIS. Penggunaan GIS telah terbukti dapat memberikan hasil analisis yang lebih akurat dan penggunaan waktu lebih efisien terkait dengan analisis karakteristik DAS (Viji et al., 2015)

Untuk variabel keluaran, penetapan parameter dilakukan berdasarkan hidrograf satuan rata-rata yang diturunkan dari seluruh kejadian banjir pada seluruh DAS terpilih yang dijadikan sampel.

3.4. Keterangan Tentang Data Lain Yang Perlu

Untuk mendapatkan variabel-variabel sebagaimana disampaikan sebelumnya, maka diperlukan data-data yang bersesuaian dengan kebutuhan variabel-variabel tersebut, meliputi:

- (a). Data untuk variabel masukan (*independent variabel*).

Data untuk variabel masukan diturunkan dari peta topografi berupa peta kontur dan jaringan sungai atau peta DEM. Data ini dapat diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) berupa Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI). Bila kenampakan obyek pada Peta RBI tidak jelas, maka obyek dapat diekstrak dari Peta DEM dengan skala dan resolusi peta yang memadai.

- (b). Data untuk variabel keluaran (*dependent variabel*).

Data untuk variabel keluaran diturunkan dari data hidrologi dan hidrometri dengan referensi data (peta) penggunaan lahan. Data hidrologi dan hidrometri meliputi data hujan dan debit, dapat diperoleh dari lembaga pemerintah atau swasta yang memiliki data seperti Balai Wilayah Sungai (BWS), Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS), Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Dinas-Dinas Provinsi (PU, Pertanian, Kehutanan)

Data (peta) penggunaan lahan, untuk mengetahui karakteristik penggunaan lahan di daerah studi dan untuk memastikan bahwa di daerah hulu bangunan ukur debit (*AWLR*) tidak terdapat tampungan-tampungan dan pengambilan.

3.5. Metode Pengumpulan Data dan Pengujiannya

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder, secara rinci disampaikan pada Rencana Penelitian dan Prosedurnya. Data dikumpulkan dengan cara survei di lembaga atau instansi penyedia data meliputi data hujan, debit (tinggi muka air), topografi dan guna lahan di seluruh daerah penelitian

(Sulawesi Tengah). Selanjutnya, dari seluruh data yang telah dikumpulkan dilakukan pemilihan dan penyeleksian data dengan persyaratan-persyaratan tertentu dan dilakukan pencocokan antara data hujan dan data AWLR. Data yang telah terseleksi dan terpilih, merupakan data yang akan menjadi sampel penelitian.

3.6. Penjelasan Tentang Model Yang Digunakan

Penyusunan Model HSS ini dilakukan menggunakan analisis regresi linier berganda (*multiple linear regression*) dan dibandingkan dengan regresi *step wise* (*step wise regression*). Penggunaan model regresi ini didasarkan atas variabel keluaran (*dependent variabel*) dipengaruhi oleh lebih dari satu variabel masukan dan diprediksi memiliki hubungan linier (selanjutnya prediksi ini akan diverifikasi).

Untuk kepraktisan analisis, pemodelan regresi akan dilakukan menggunakan perangkat lunak (*software*) *Mini Tab* dan *R (The R Foundation for Statistical Computing)* beserta seluruh pengujian yang diperlukan untuk mendapatkan model terbaik.

3.7. Cara Penyelesaian Masalah dan Pencapaian Tujuan Penelitian

Sebagaimana telah dijelaskan pada BAB I tentang Perumusan Masalah dan Tujuan dan Manfaat Penelitian, cara penyelesaian masalah dan pencapaian tujuan penelitian dapat dirumuskan berdasarkan Tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Cara Penyelesaian Masalah dan Pencapaian Tujuan Penelitian

No.	Perumusan Masalah	Tujuan dan Manfaat Penelitian	Cara Penyelesaian Masalah (Metode Penelitian)	Keterangan
1	Bagaimana karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian?	Mendeskripsikan karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian	Analisis karakteristik fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian	Tahap 3, Bagan Alir 3 (Gambar 3.5)
2	Bagaimana sifat dasar hidrograf satuan terukur DAS di daerah penelitian?	Mendeskripsikan sifat dasar hidrograf satuan terukur DAS di daerah penelitian	Analisis hidrograf satuan terukur DAS di daerah penelitian	Tahap 4, Bagan Alir 4 (Gambar 3.6)

Lanjutan Tabel 3.4 Cara Penyelesaian Masalah dan Pencapaian Tujuan Penelitian

No.	Perumusan Masalah	Tujuan dan Manfaat Penelitian	Cara Penyelesaian Masalah (Metode Penelitian)	Keterangan
3	Bagaimana bentuk dan kinerja (<i>good fit</i>) model HSS yang disusun berdasarkan kombinasi parameter fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian?	Mendapatkan model HSS dengan kinerja terbaik (<i>good fit</i>) yang disusun berdasarkan kombinasi parameter fraktal dan morfometri DAS di daerah penelitian	Mengembangkan model HSS berdasarkan kombinasi parameter fraktal dan morfometri DAS-DAS terukur di daerah penelitian	Tahap 5, Bagan Alir 5 (Gambar 3.7a-b)
4	Bagaimana deskripsi perbandingan kinerja dan parameter optimal dari beberapa model HSS yang diuji?	Membandingkan kinerja model HSS yang disusun dengan model HSS lainnya dan meningkatkan kinerja model HSS melalui optimasi parameter (kalibrasi)	Analisis perbandingan kinerja dan optimasi parameter model HSS	Tahap 6, Bagan Alir 6 (Gambar 3.7b)

3.8. Rencana Penelitian dan Prosedurnya

Secara garis besar, penelitian ini dilaksanakan dalam 6 tahapan utama yakni:

(1). Identifikasi Data dan Studi Pendahuluan

Kegiatan penelitian didahului identifikasi data di instansi atau lembaga mana saja yang bisa menyediakan data dengan kapasitas yang memadai. Berdasarkan hasil identifikasi, maka dikumpulkan data-data awal untuk melakukan studi pendahuluan, dalam bentuk analisis kinerja beberapa HSS yang ada di daerah penelitian. Hasil identifikasi ini juga dijadikan pedoman untuk menetapkan jumlah DAS yang akan digunakan dalam penelitian, selanjutnya akan diverifikasi berdasarkan hasil pengumpulan data terutama data hidrologi dan data penggunaan lahan (peta).

(2). Pengumpulan Data Sekunder.

Pengumpulan data sekunder utamanya meliputi data hidrologi (hujan jam-jaman dan AWLR) dan data topografi (Peta RBI, SRTM dan penggunaan lahan)

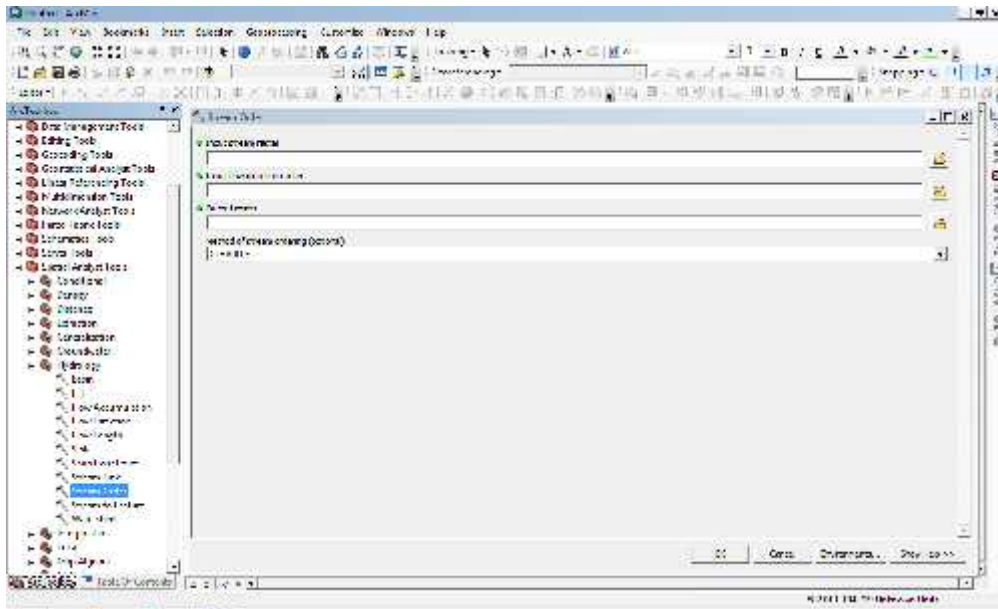
- (a). Pengumpulan data hujan (harian) dan tinggi muka air (AWLR) yang bersesuaian pada seluruh DAS yang tersedia datanya dengan ketentuan sebagai berikut: (a) Terdapat alat ukur hujan dan alat ukur tinggi muka air otomatis (*Automatic Water Level Recorder*, AWLR) pada DAS yang diambil datanya, (b) Pada DAS yang diambil datanya tidak terdapat tampungan (danau, kolam atau embung buatan) dan pengambilan (*intake*) di sebelah hulu bangunan ukur debit (AWLR). Adanya tampungan dan pengambilan di sebelah hulu bangunan ukur debit (AWLR), menyebabkan tidak validnya hubungan antara hujan dan debit dalam membentuk hidrograf.
- (b). Pengumpulan peta topografi meliputi Peta RBI, SRTM dan penggunaan lahan.

Setelah data terkumpul, pada tahap ini juga dilakukan pengujian dalam bentuk validasi dan pemilihan Data. Validasi dan pemilihan data dilakukan terhadap data hujan dan debit. Validasi data dilakukan dengan cara melihat kesesuaian kejadian data hujan dan debit, artinya terdapat kecocokan antara kejadian hujan dengan tinggi muka air (debit) yang dibangkitkannya. Pemilihan data tinggi muka air (AWLR) dilakukan dengan syarat memiliki puncak tunggal agar dapat merepresentasikan bentuk tipikal hidrograf, dengan ketentuan kejadiannya bersesuaian dengan kejadian hujan.

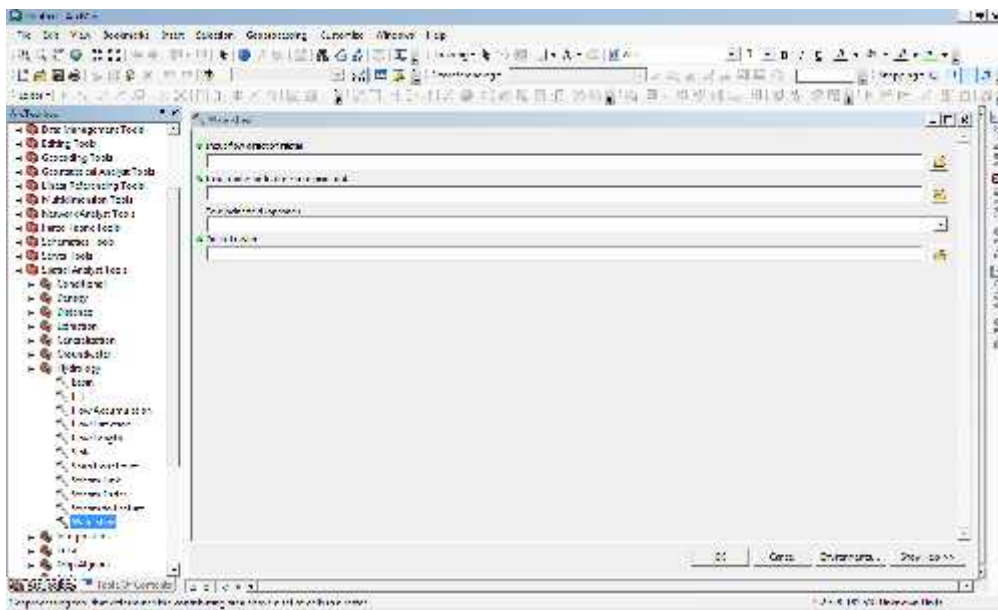
(3). Analisis Fraktal dan Morfometri DAS

Analisis fraktal dan morfometri DAS dimulai dengan pengolahan dan analisis data topografi (data RBI dan SRTM) guna menetapkan parameter DAS yang meliputi karakteristik fraktal dan morfometri DAS. Pengolahan dan analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak sistem informasi geografis (GIS) dalam hal ini ArcGIS untuk menetapkan batas-batas DAS dan sub DAS, orde sungai, panjang sungai masing-masing segmen dan kemiringan sungai utama.

Pengordean sungai dan penentuan batas-batas DAS dan sub DAS dilakukan menggunakan Fasilitas *Spasial Analyst Tool* È *Hydrology* seperti pada Gambar 3.2a dan Gambar 3.2b.



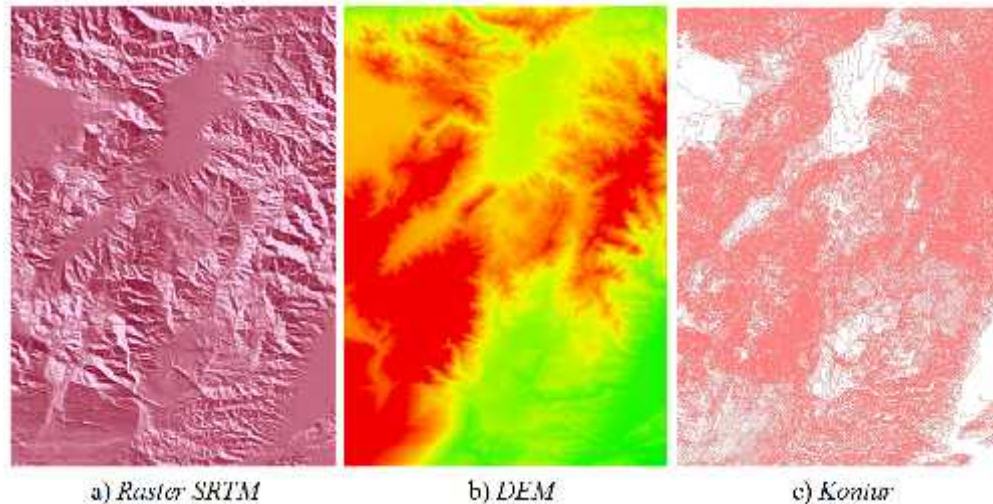
Gambar 3.2a *Tool* penentuan orde sungai pada ArcGIS



Gambar 3.2b *Tool* penentuan batas DAS dan sub DAS pada ArcGIS

Apabila data pada peta RBI tidak memiliki kenampakan obyek yang baik akibat tertutup awan atau faktor lainnya, perbaikan data dilakukan menggunakan data SRTM yang dapat berupa raster SRTM, DEM dan kontur

seperti Gambar 3.3 poin a-c. Berdasarkan hasil pengolahan data ini maka dapat dianalisis karakteristik fraktal dan parameter morfometri DAS yang bersangkutan dalam hal ini parameter fraktal (R_B , R_L , R_A dan D) dan morfometri DAS (A , L , S , dan F_b).



Gambar 3.3 Data kontur yang dibangkitkan dari DEM dan SRTM Topographic (ESRI, 2010)

(4). Analisis Hidrograf Satuan Terukur

Tahapan ini dibedakan menjadi pengolahan data hujan jam-jaman dan pengolahan data AWLR. Analisis data hujan dilakukan untuk menetapkan hujan efektif (*effectif rainfall*), merupakan elemen hujan yang menyebabkan limpasan langsung (*direct run off*) di sungai. Penetapan hujan efektif dilakukan menggunakan angka index phi (*phi index*), yang menyatakan jumlah hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Hujan efektif dihitung dengan cara mengurangi curah hujan jam-jaman (total) dengan indeks phi untuk seluruh kelompok data hujan di seluruh DAS terpilih.

Analisis data AWLR dimulai dengan melakukan konversi data AWLR menjadi data debit menggunakan persamaan lengkung debit yang ditetapkan pada masing-masing sungai (DAS). Berdasarkan data hidrograf (debit) dapat dilakukan penurunan hidrograf satuan. Penurunan hidrograf satuan dilakukan dengan memisahkan hidrograf limpasan langsung masing-masing kasus banjir dengan aliran dasarnya dengan salah satu metode seperti metode garis lurus (*straight line method*). Volume limpasan langsung dihitung berdasarkan

hujan efektif. Selanjutnya ordinat hidograf satuan diperoleh dengan membagi ordinat hidrograf limpasan langsung dengan tinggi hujan efektifnya.

Analisis parameter hidrograf satuan dilakukan terhadap hidrograf satuan rata-rata dengan merata-ratakan debit puncak (Q_p), waktu naik (T_p), dan waktu dasar (T_b), yang kemudian dijadikan patokan dalam menentukan ordinat hidograf satuan terukur rata-rata.

(5). Pengembangan Model HSS

Pengembangan (penyusunan) model HSS didasarkan pada variabel masukan (*independent variable*) yang ditetapkan berdasarkan karakteristik fraktal dan morfometri DAS dan variabel keluaran (*dependent variable*) yang ditetapkan berdasarkan hidrograf satuan rata-rata. Langkah-langkah penyusunan model adalah seperti berikut ini:

- a. Mencari hubungan antara variabel masukan untuk menentukan sifat multikolinieritas antar variabel dengan analisis korelasi. Jika korelasi antar variabel tinggi berarti kedua variabel saling berpengaruh, oleh karena itu dalam menentukan variabel regresi cukup salah satu saja dari kedua variabel tersebut digunakan
- b. Mencari hubungan antara masing-masing variabel masukan dengan masing-masing variabel keluaran, variabel masukan yang memiliki korelasi tinggi dapat digunakan sebagai variabel masukan model
- c. Analisis regresi linier berganda (*multiple linear regression*), dilakukan untuk menyusun Model HSS. Analisis regresi dilakukan untuk menunjukkan hubungan antara parameter morfometri DAS, yaitu analisis yang membahas hubungan antara 2 variabel atau lebih. Dalam analisis regresi ini terdapat dua variabel, yaitu variabel bebas (VB) dan variabel tidak bebas (VTB). Disini yang dimaksud variabel bebas adalah variabel yang sudah diketahui nilainya (parameter DAS), sedangkan variabel tidak bebas adalah variabel yang akan dicari nilainya.
- d. Pengujian model regresi untuk mengetahui apakah persamaan regresi yang dihasilkan memiliki kinerja yang bagus dalam mempresentasikan variabel masukan. Pengujian ini dilakukan untuk menguji (menentukan) bentuk

terbaik dari model artinya bahwa apakah model sudah menunjukkan kinerja (*performance*) yang baik, selain dilihat dari nilai koefisien korelasi, koefisien determinasi dan analisis varian, kinerja model juga dapat dianalisis berdasarkan pengujian residual, diantaranya: residual terdistribusi normal, residual tidak saling berautokorelasi dan varian residual homogen. Penyusunan dan pengujian model ini dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak *R* (*The R Foundation for Statistical Computing*) dan *Mini Tab*. Model regresi juga akan diverifikasi dengan *step wise regression*.

- e. Berdasarkan analisis regresi, akan diperoleh model dengan konstanta (parameter) baru sesuai dengan kondisi DAS di daerah penelitian dan dinyatakan dengan persamaan.

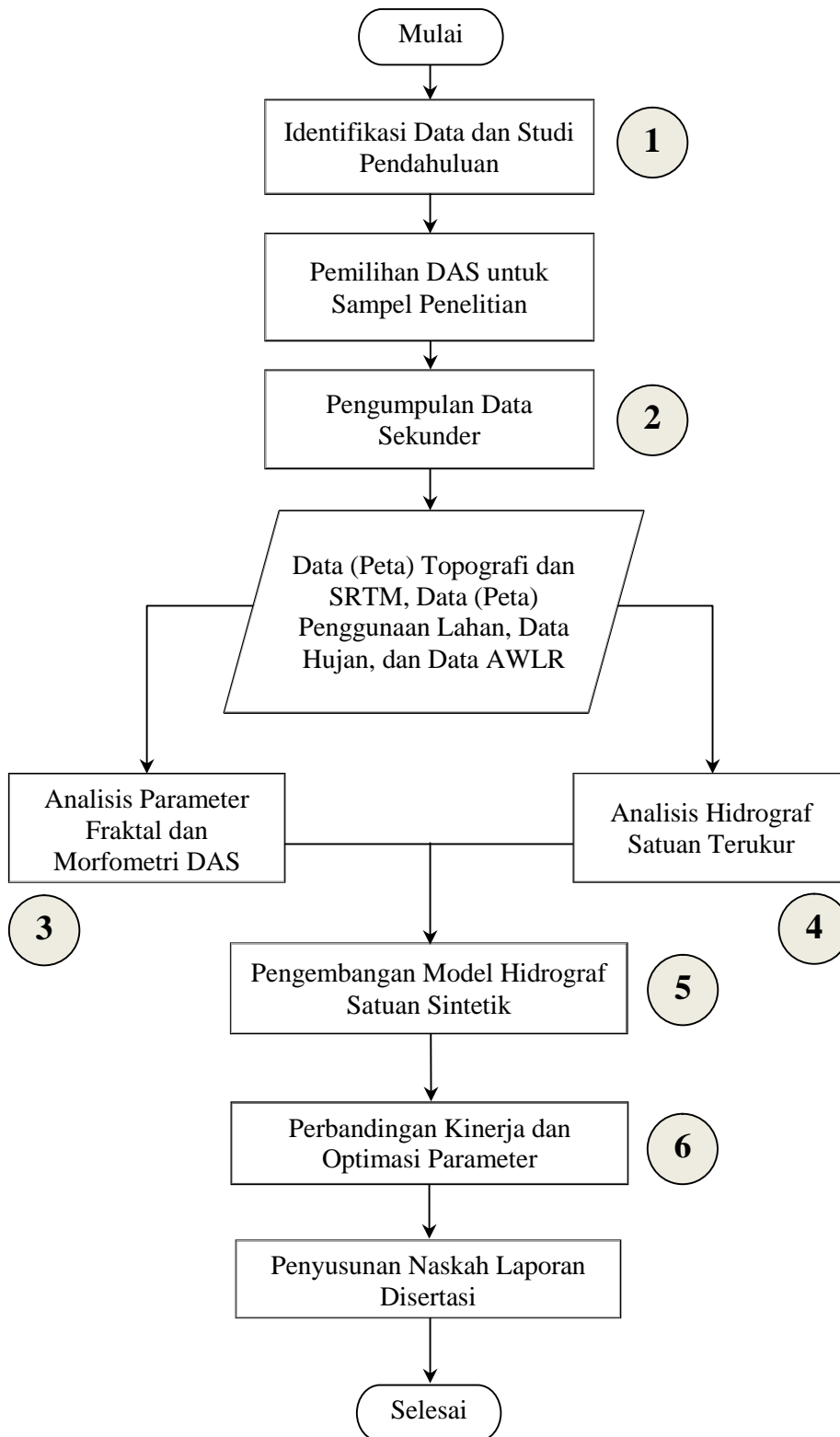
Validasi dan Verifikasi Model

Untuk mengetahui kinerja model, selanjutnya dilakukan validasi dan verifikasi model HSS yang telah disusun. Validasi bertujuan untuk menguji keberlakuan model pada data-data yang lain. Validasi dilakukan dengan mengukur kinerja model menggunakan data hujan dan debit pada tahun-tahun yang lain yang tidak digunakan pada penyusunan model. Selanjutnya juga dilakukan verifikasi model menggunakan data pada DAS-DAS lain di Sulawesi Tengah yang tidak digunakan untuk menyusun model. Hasil pengujian validasi dan verifikasi model ini dapat dilihat dari parameter indikator kesalahan.

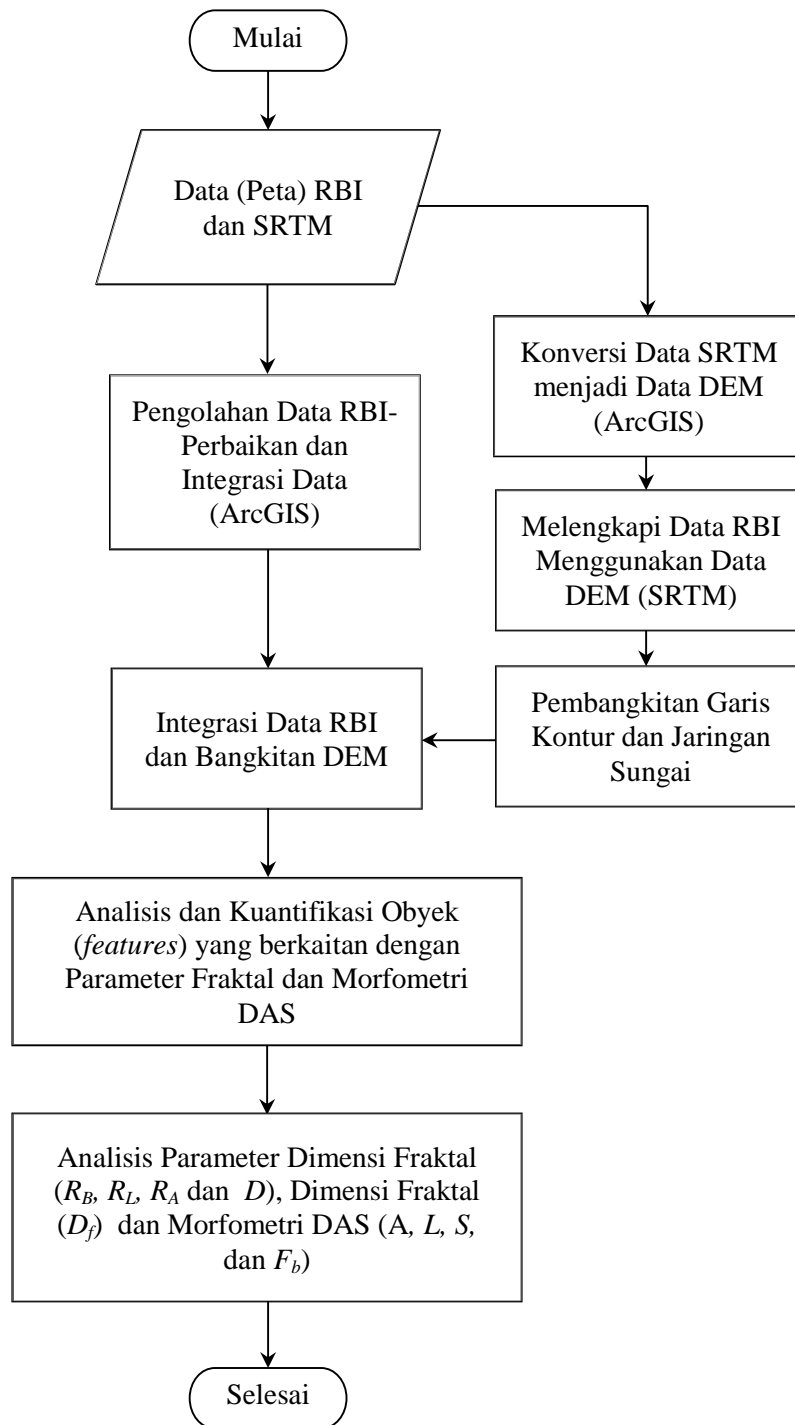
(6). Perbandingan Kinerja dan Optimasi Parameter

Perbandingan kinerja dan optimasi parameter dilakukan untuk mengetahui gambaran kinerja dan parameter optimal beberapa model HSS yang disusun melalui analisis perbandingan kinerja (analisis penyimpangan parameter dan kesesuaian kurva) dan optimasi parameter menggunakan fasilitas *solver* pada *Microsoft Excel*.

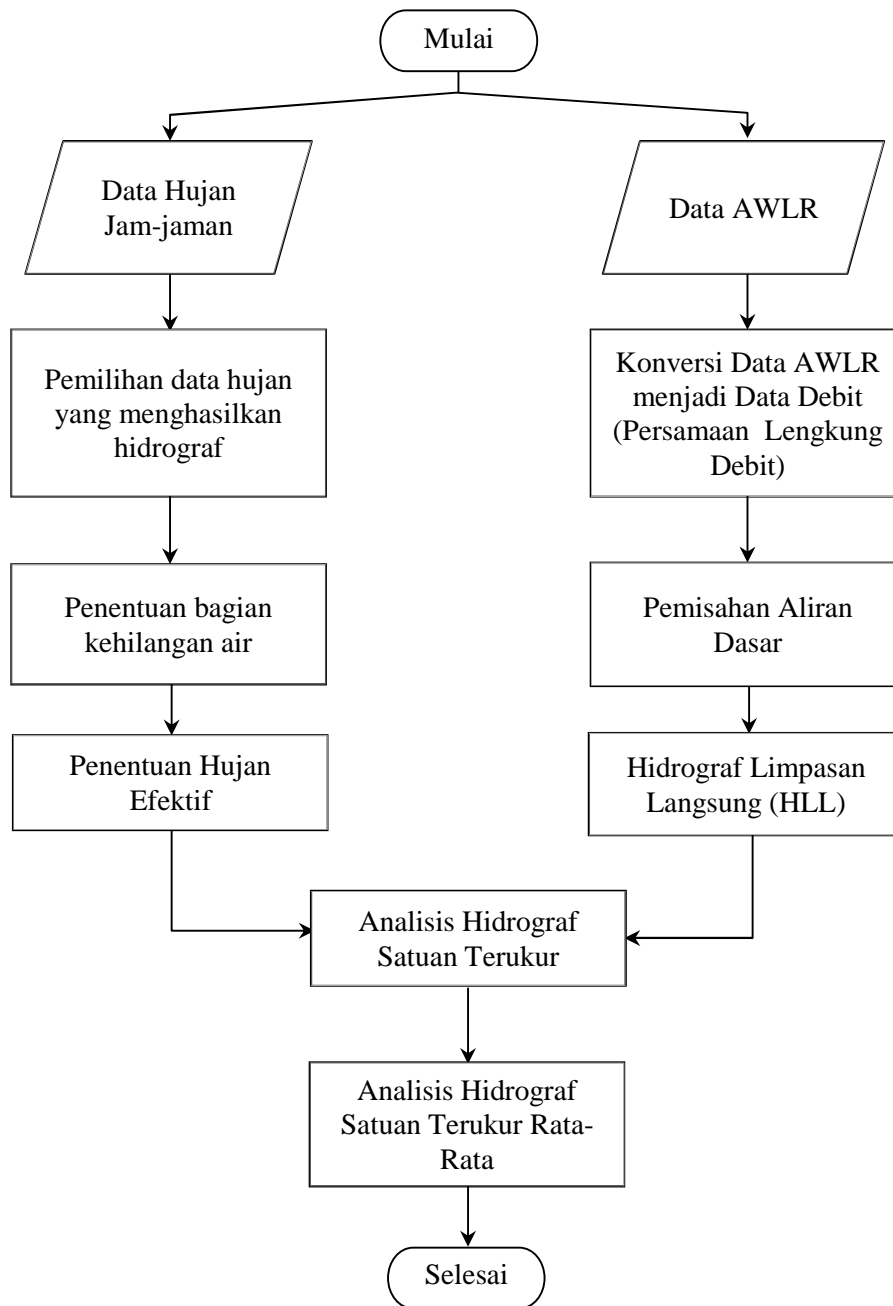
Secara garis besar, tahapan-tahapan penelitian tersebut dapat dituangkan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 3.4, Gambar 3.5, Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 poin a-b berikut ini:



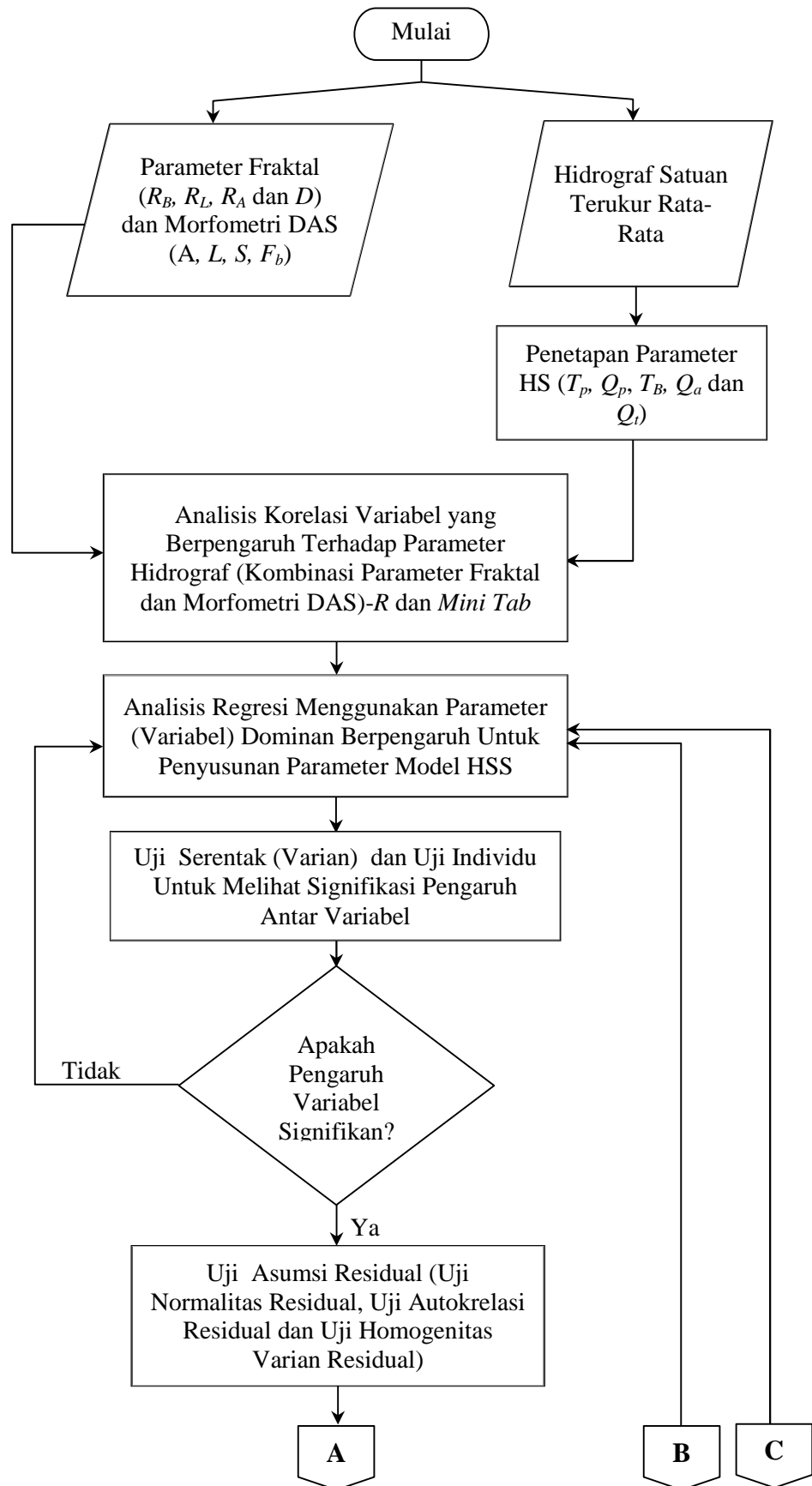
Gambar 3.4 Bagan alir utama (pokok) penelitian



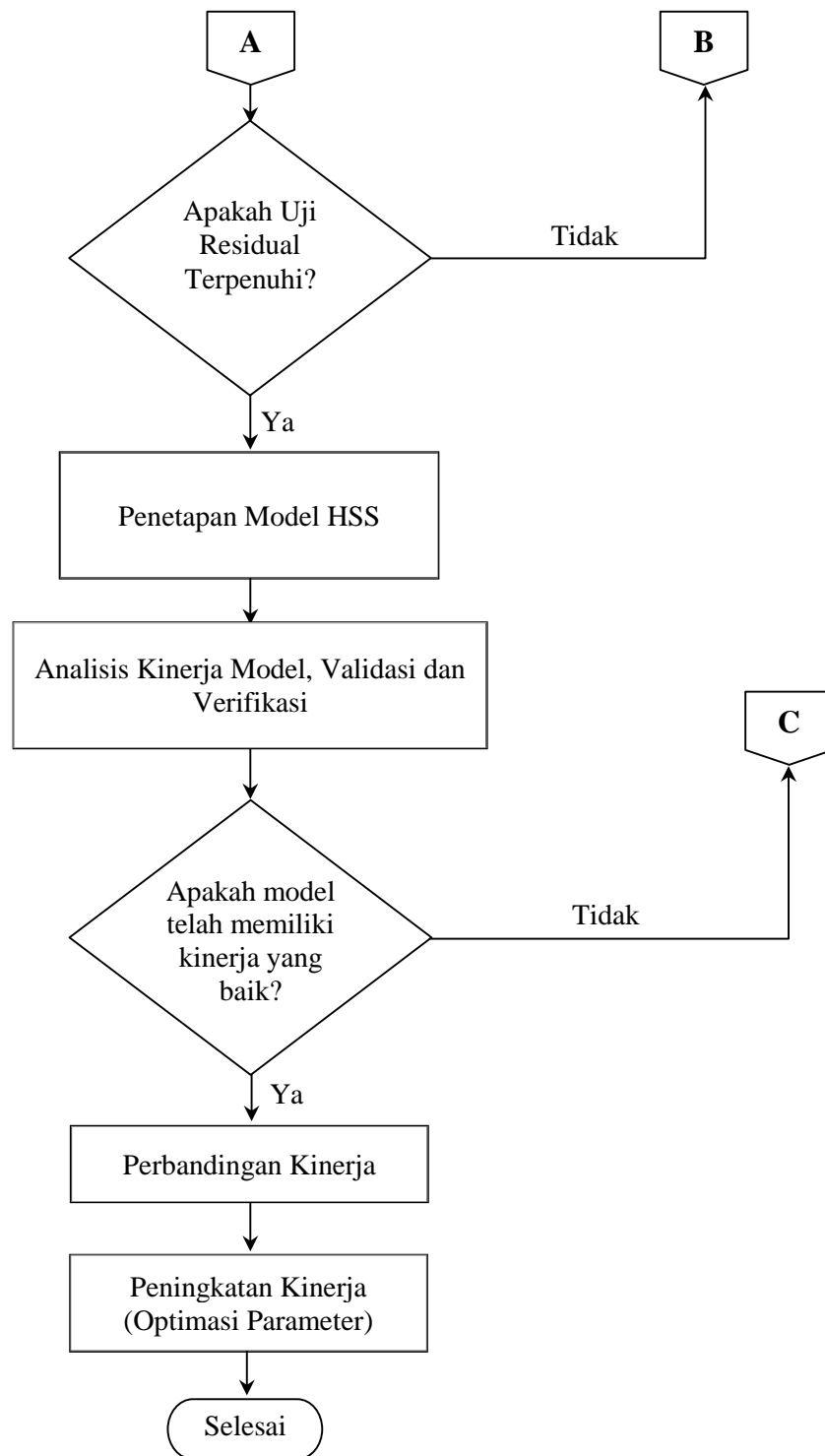
Gambar 3.5 Bagan alir analisis fraktal dan morfometri DAS



Gambar 3.6 Bagan alir hidrograf satuan terukur



Gambar 3.7a Bagan alir pengembangan Model HSS



Gambar 3.7b Bagan alir pengembangan Model HSS (lanjutan)

3.9. Hasil Yang Diharapkan dan Metode Interpretasinya

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, bahwa tujuan utama (akhir) dari penelitian ini adalah pengembangan model matematika hidrograf satuan sintetik dalam bentuk parameter-parameter utama hidrograf yang dinyatakan dengan persamaan-persamaan diantaranya, persamaan debit puncak (Q_p), waktu naik (T_p), waktu dasar (T_b), dan persamaan debit sisi naik dan sisi turun (Q_t).

Untuk menginterpretasi hasil penelitian dalam bentuk model HSS ini, maka dilakukan analisis kinerja model baik pada saat pengembangan model maupun pada saat pengujian (validasi dan verifikasi) menggunakan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E).

BAB 4

KARAKTERISTIK DAS DAN HIDROGRAF BANJIR



BAB 4

KARAKTERISTIK DAS DAN HIDROGRAF BANJIR

4.1 Deskripsi Umum DAS di Daerah Penelitian

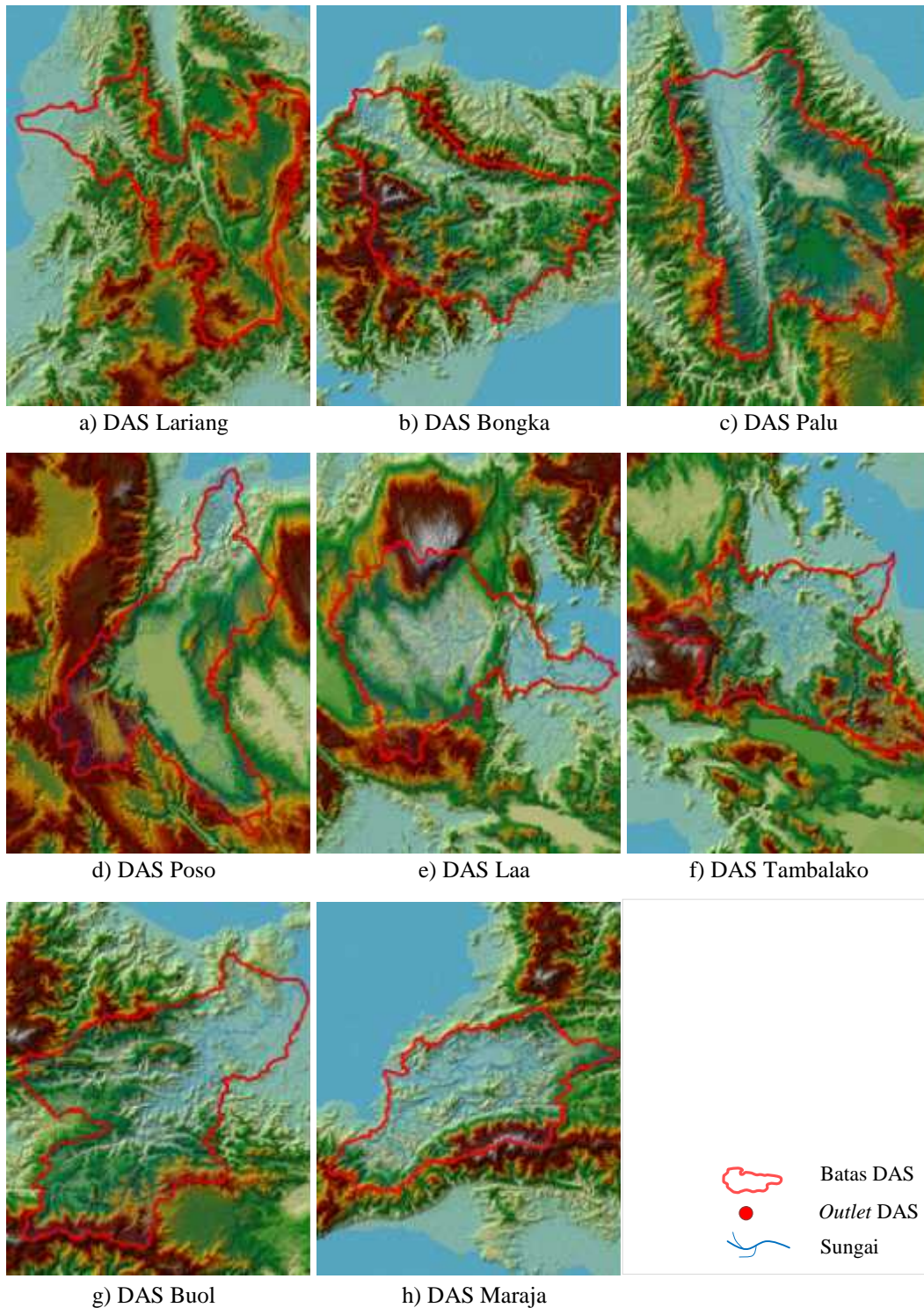
Wilayah administrasi Sulawesi Tengah dengan luas daratan kurang lebih 68033 km², memiliki sekitar 584 buah DAS (sungai) sebagai sumber air permukaan yang tersebar pada 6 wilayah sungai (WS) sebagaimana telah disampaikan pada Bab 3. Dari keseluruhan jumlah sungai yang ada, sebagian besar termasuk dalam kategori sungai (DAS) menengah dan kecil berdasarkan klasifikasi DAS sebagaimana dituliskan oleh Stefan (2004, dalam Kouli et al., 2007, Safarina et al., 2011 dan Safarina, 2012). Berdasarkan analisis Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), teridentifikasi 8 diantaranya merupakan DAS besar, yakni DAS Lariang (7130 km²), DAS Bongka (3325 km²), DAS Palu (3048 km²), DAS Poso (2616 km²), DAS Laa (2872 km²), DAS Tambalako (1852 km²), DAS Buol (1661 km²) dan DAS Maraja (1434 km²) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.1 poin a-h. Kedelapan DAS besar tersebut merupakan sumber air utama yang dimanfaatkan untuk pengembangan irigasi teknis, air baku, pembangkit energi (*hydro power*) dan pemanfaatan lainnya terutama untuk konservasi dan pemeliharaan sungai itu sendiri.

Tabel 4.1 Jumlah DAS (sungai) di daerah penelitian

No.	Nama WS	Status WS	Jumlah DAS (sungai)
1	Palu Lariang	WS Lintas Provinsi	52
2	Parigi Poso	WS Strategis Nasional	50
3	Lambunu Buol	WS Lintas Kabupaten/Kota	99
4	Bongka Mentawa	WS Lintas Kabupaten/Kota	109
5	Laa Tambalako	WS Lintas Kabupaten/Kota	89
6	Kepulauan Banggai	WS Dalam Satu Kab/Kota	185
Jumlah			584

Sumber : KEPPRES No. 12 Tahun 2012

Sebagian besar DAS-DAS pada 6 Wilayah Sungai (WS) tersebut memiliki debit (aliran) yang dapat dimanfaatkan sepanjang tahun dan hanya sebagian kecil saja yang mengering pada musim kemarau (Bulan Juli-Nopember)

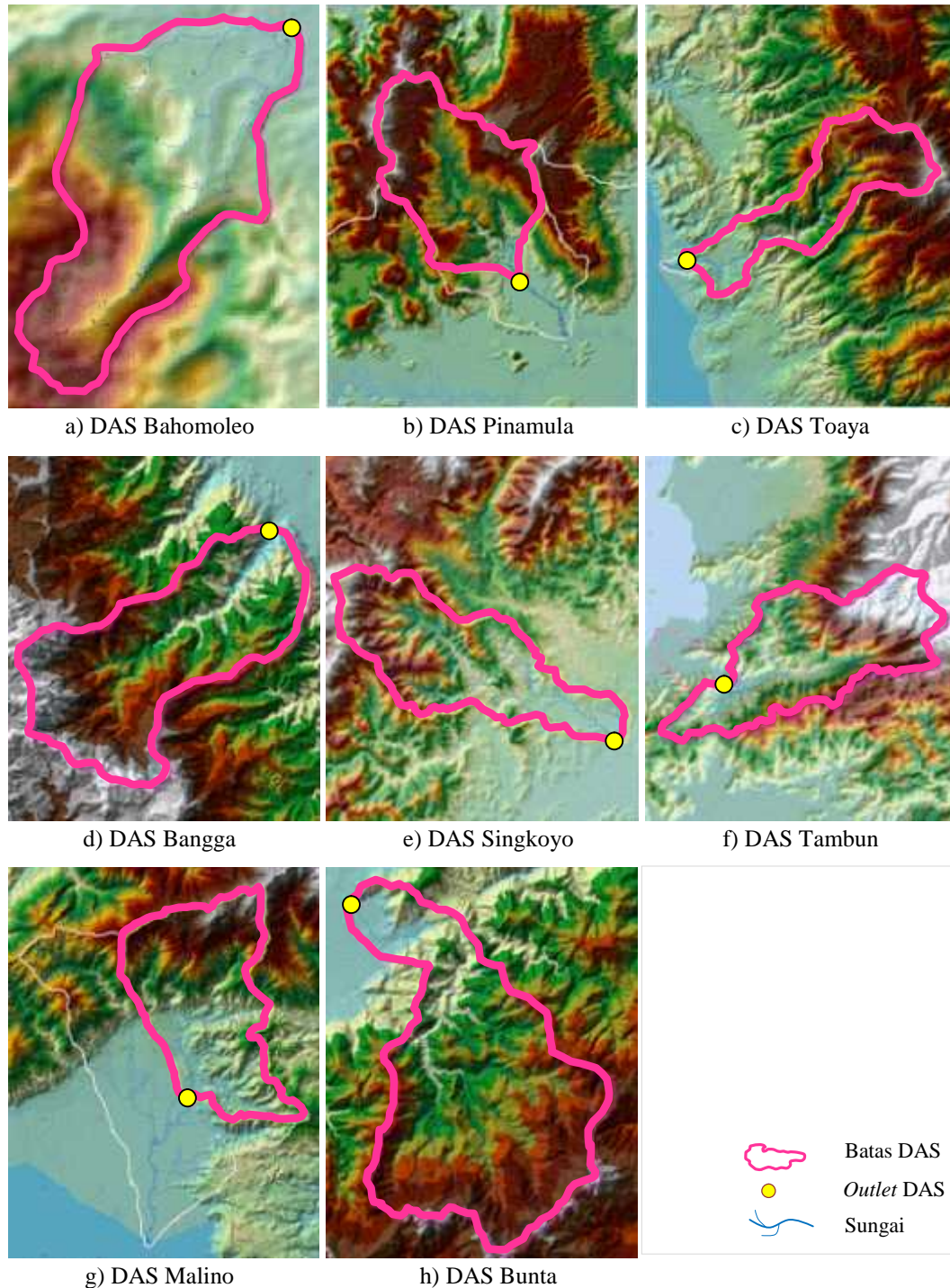


Sumber : Peta RBI Tahun 1991

Gambar 4.1 DAS-DAS besar di Sulawesi Tengah

4.2 Karakteristik Morfometri DAS

Sebagaimana telah disampaikan pada bab sebelumnya, bahwa terdapat 8 buah DAS di daerah penelitian yang akan digunakan sebagai parameter penyusun model HSS (Gambar 4.2 poin a-h).



Sumber : Peta RBI Tahun 1991

Gambar 4.2 Delapan DAS yang diteliti sebagai penyusun model HSS

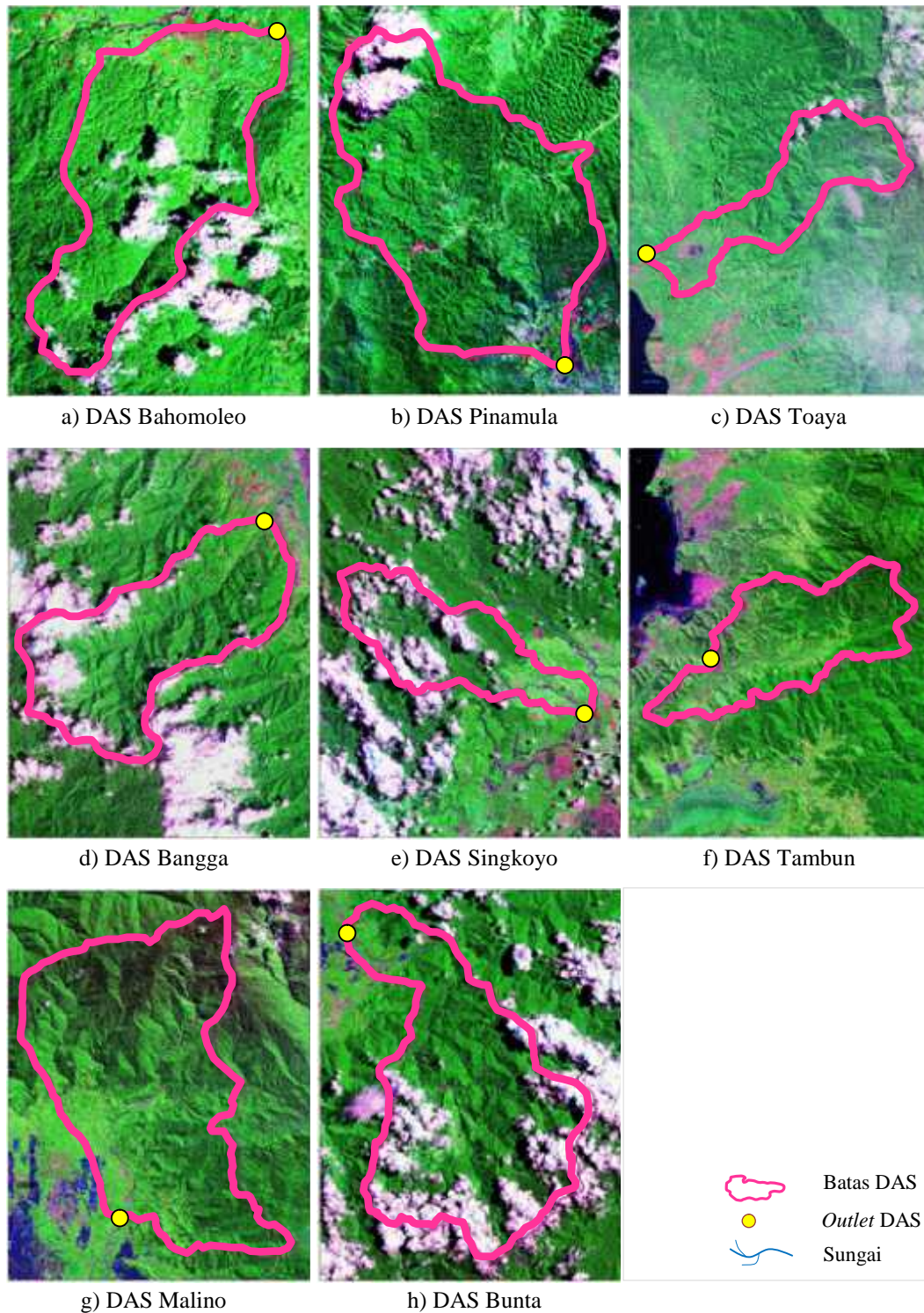
Kedelapan DAS tersebut meliputi DAS Bahomoleo, DAS Pinamula, DAS Toaya, DAS Bangga, DAS Singkoyo, DAS Tambun, DAS Malino dan Bunta, secara geografis terletak menyebar pada 6 Wilayah Sungai (WS) yang ada di Provinsi Sulawesi Tengah.

Berdasarkan kenampakan topografi sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.2, DAS-DAS tersebut berada pada elevasi antara 50 meter sampai 1700 meter di atas permukaan laut (DPL). Secara umum, topografi DAS dibentuk oleh permukaan berbukit-bukit cembung dengan bentuk lahan mulai dari bergelombang, berbukit sampai dengan bergunung, dengan kemiringan lereng dominan berkategori curam (45%-65%) sampai sangat curam (>65%) menurut klasifikasi lereng permukaan bumi yang disampaikan oleh Arsyad (2000). Topografi bergelombang dengan kemiringan sampai 15%, umumnya dapat dijumpai pada bagian hilir di sekitar *outlet* DAS, topografi berbukit dengan kemiringan sampai 45% terdapat pada daerah kaki pegunungan yang mengapit alur-alur sungai dan anak-anak sungai dan topografi bergunung (kemiringan lebih dari 45 %) menempati hampir sebagian besar bagian hulu DAS .

Kondisi topografi ini diperkirakan sangat erat kaitannya dengan morfologi dan pola alur sungai pada DAS-DAS tersebut. Alur-alur sungai umumnya mengikuti bentuk-bentuk peralihan topografi terutama lembah, sehingga membentuk alur yang beragam mulai dari lurus sampai berkelok-kelok (*meandering*). Pada daerah hulu dengan kondisi topografi terjal (berbukit dan bergunung), alur sungai relatif stabil dengan bentuk penampang sungai berbentuk V, namun pada daerah hilir, pola alur sungai cenderung berkelok-kelok dengan jari-jari belokan yang besar dan memiliki bentuk penampang beragam dan cenderung berubah-ubah (Tunas et al, 2017a).

Bila dicermati dari tutupan lahan berdasarkan referensi citra yang dipublikasikan oleh *Google Earth* (2015) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 poin a-h, umumnya DAS-DAS di daerah penelitian memiliki tutupan lahan yang masih baik terutama untuk DAS bagian tengah dan hulu berupa hutan-hutan primer dengan kerapatan sedang sampai tinggi. Pada bagian hilir terutama di sekitar *outlet* DAS, tampak telah terjadi perubahan pemanfaatan lahan terutama diperkirakan alih fungsi untuk lahan pertanian (palawija) dan perkebunan (kakao).

Namun demikian secara umum dapat disampaikan bahwa kedelapan DAS yang diteiliti masih memiliki tutupan lahan yang terkonservasi dengan baik terkait dengan fungsi DAS sebagai media transformasi hujan-debit (Tunas et al, 2017a).



Sumber : Citra *Google Earth* Publikasi Tahun 2015

Gambar 4.3 Tutupan lahan delapan DAS

Kedelapan DAS yang dijadikan sampel penelitian memiliki luas antara 23.88 km² sampai 144.73 km² seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2, dan semuanya termasuk dalam kategori DAS menengah (*meso scale watershed*) dengan rentang luas $10 < A < 1000$ km² (Safarina et al., 2011 dan Safarina, 2012). Secara umum DAS-DAS tersebut memiliki kemiringan rata-rata sungai di atas 3% termasuk dalam kategori sungai-sungai berkemiringan terjal bila dibandingkan dengan kemiringan sungai-sungai di Pulau Jawa dan Kalimantan pada umumnya, yang mencerminkan sungai-sungai tipikal pegunungan di Pulau Sulawesi. Namun bila dicermati lebih lanjut, kemiringan sungai-sungai ini bervariasi menurut segmen. Pada segmen hulu kemiringan sungai umumnya cenderung sangat terjal (curam), pada segmen tengah berkemiringan sedang dan pada segmen hilir berkemiringan landai (rendah). Oleh karena itu, sangat jarang dijumpai pengaruh pasang surut menuju alur sungai karena segmen hilir memiliki kemiringan positif.

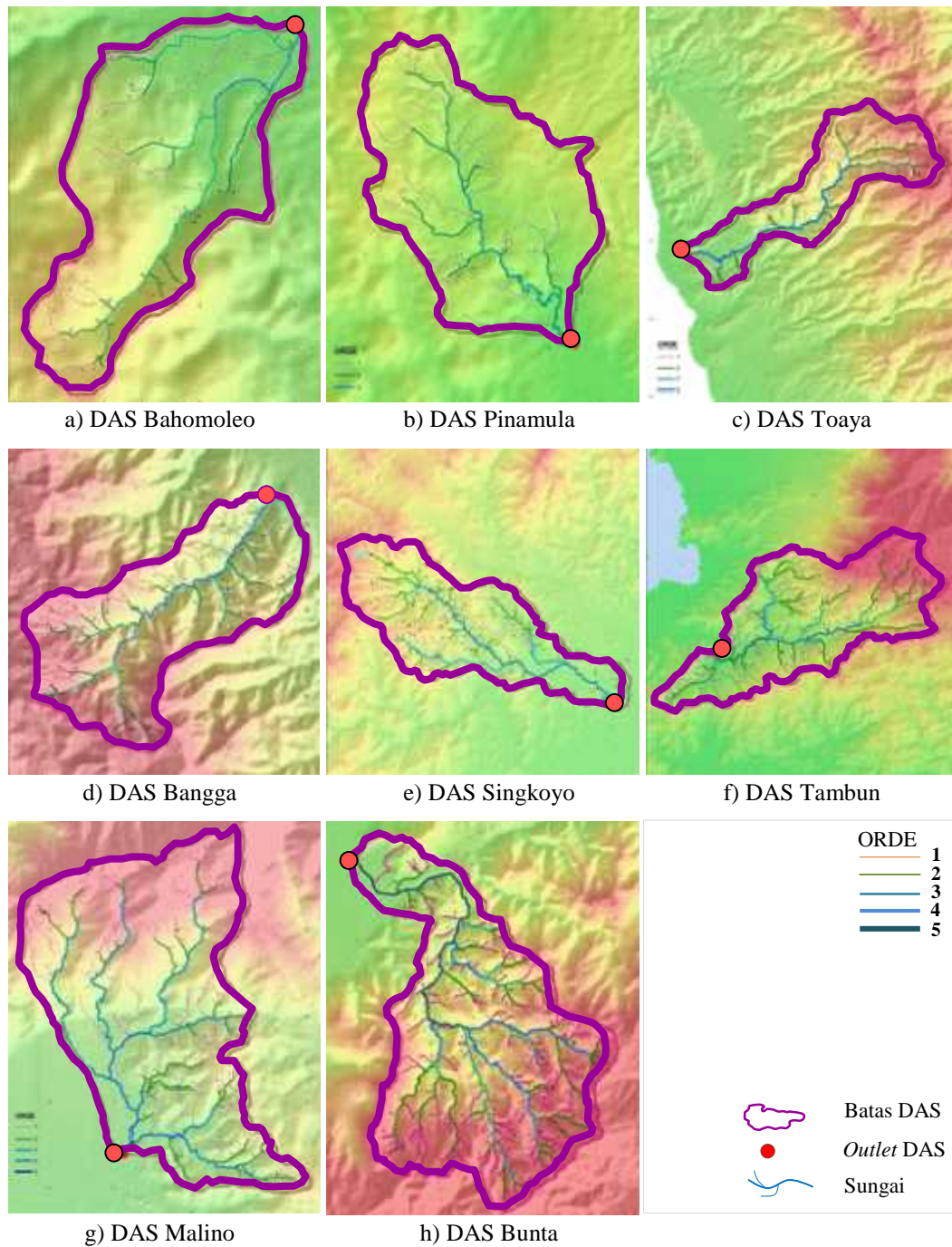
Tabel 4.2 Karakteristik morfometri 8 DAS di daerah penelitian

No.	Nama DAS	Luas DAS (A, km ²)	Panjang Sungai Utama (L, m)	Kemiringan Sungai Utama (S)	Faktor Bentuk DAS (F _b)
1	Bahomoleo	23.88	10315.36	0.07639	0.30
2	Pinamula	49.35	15636.28	0.03422	0.39
3	Toaya	65.51	21817.08	0.06532	0.21
4	Bangga	68.19	16484.77	0.08948	0.37
5	Singkoyo	116.05	26810.29	0.04569	0.22
6	Tambun	118.19	19990.61	0.09755	0.50
5	Malino	128.75	19192.51	0.10812	0.49
8	Bunta	144.73	28699.57	0.06359	0.36

Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 4.2, kedelapan DAS juga memiliki faktor bentuk (F_b) DAS yang bervariasi. Faktor bentuk DAS tertinggi dimiliki oleh DAS Tambun sebesar 0.50 yang menggambarkan kedekatan (kemiripan) bentuk DAS dengan bentuk lingkaran dengan faktor bentuk sebesar 0.754 untuk lingkaran sempurna (Horton, 1932 dalam Pareta et al., 2012). Faktor bentuk secara umum diperkirakan berpengaruh terhadap Q_p dan T_p.

4.3 Karakteristik Fraktal DAS

Karakteristik fraktal Daerah Aliran Sungai (DAS), sebagaimana telah disampaikan sebelumnya digambarkan oleh konfigurasi jaringan sungai (*main river*) dan anak-anak sungainya (*tributary*) berdasarkan sistem pengordean sungai (*stream order*) menurut Stahler (1945) ditunjukkan pada Gambar 4.4 poin a-h.



Sumber : Peta RBI Tahun 1991

Gambar 4.4 Jaringan dan orde sungai delapan DAS

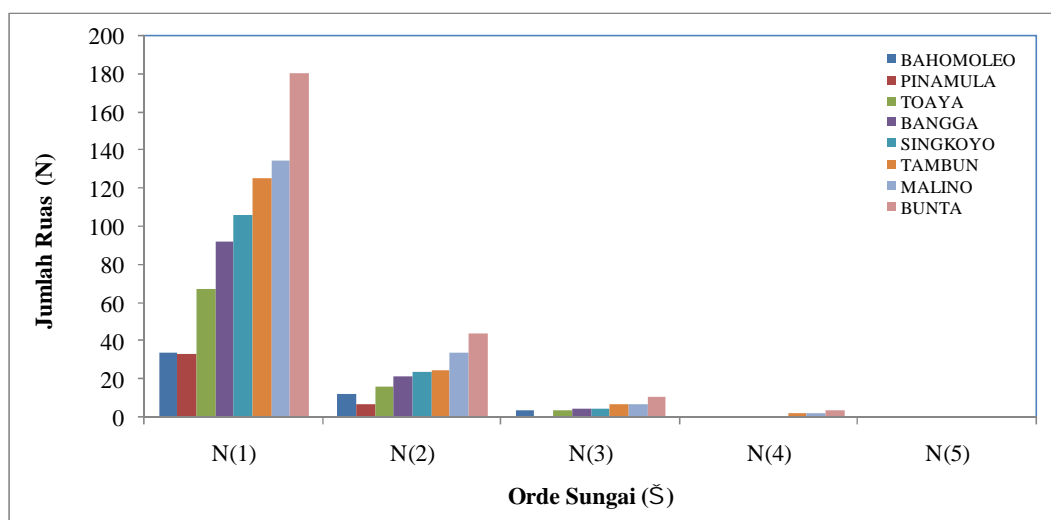
Kedelapan (8) DAS yang diteliti memiliki orde sungai antara 3 sampai 5 orde, dengan perincian satu (1) DAS diantaranya berorde 3, empat (4) DAS berorde 4 dan tiga (3) DAS berorde 5 (Gambar 4.4). Berdasarkan orde tersebut dapat ditentukan jumlah ruas dan panjang sungai masing-masing orde yang dapat menggambarkan karakteristik fraktal masing-masing DAS sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Berdasarkan tabel tersebut terlihat kecenderungan menurunnya jumlah ruas seiring dengan meningkatnya orde sungai. Namun hal ini tidak berlaku untuk panjang sungai, yang memperlihatkan tidak adanya kecenderungan hubungan antara orde dan jumlah panjang sungai.

Tabel 4.3 Jumlah ruas sungai berdasarkan orde

No.	Nama DAS	$N(1)$	$N(2)$	$N(3)$	$N(4)$	$N(5)$
1	Bahomoleo	34	15	14	3	-
2	Pinamula	34	21	13	-	-
3	Toaya	67	29	17	20	-
4	Bangga	92	37	23	24	-
5	Singkoyo	106	54	28	19	-
6	Tambun	125	69	18	17	8
7	Malino	137	62	51	10	2
8	Bunta	182	80	43	27	19

Tabel 4.4 Panjang ruas sungai rata-rata berdasarkan orde (dalam meter)

No.	Nama DAS	$L(1)$	$L(2)$	$L(3)$	$L(4)$	$L(5)$
1	Bahomoleo	593.38	604.48	758.91	1063.24	-
2	Pinamula	1083.77	634.60	932.31	-	-
3	Toaya	730.75	564.35	469.01	782.21	-
4	Bangga	748.91	557.97	650.38	518.84	-
5	Singkoyo	725.11	574.45	621.05	1021.85	-
6	Tambun	983.45	700.91	714.78	604.31	619.01
7	Malino	866.37	540.18	839.62	986.89	807.11
8	Bunta	621.71	610.75	610.75	763.92	991.88

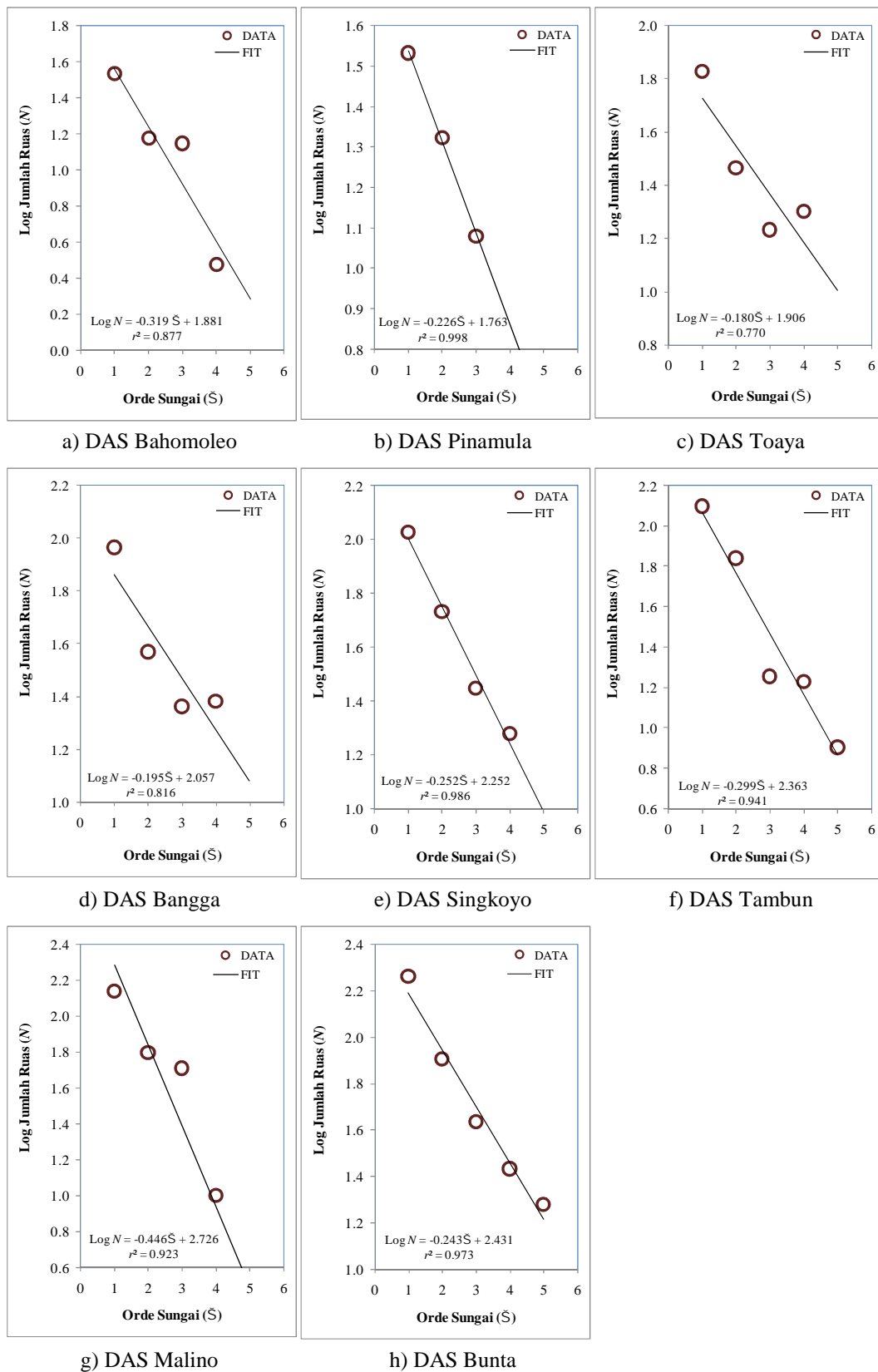


Gambar 4.5 Jumlah ruas sungai berdasarkan orde

Bila titik-titik orde sungai dan jumlah ruas yang bersesuaian seperti pada Tabel 4.3 dituangkan dalam bentuk grafik (Gambar 4.5), maka terlihat bahwa menurunnya jumlah ruas seiring dengan meningkatnya orde sungai mengikuti kurva eksponensial ($1/EXP$), sesuai untuk seluruh DAS yang diteliti walaupun lengkungan kurva untuk masing-masing DAS berbeda. Hasil kajian ini sekaligus menguatkan dan memverifikasi hasil penelitian serupa di DAS lain seperti yang dikemukakan oleh Kouli, et al. (2007), Rao, et al., (2010), dan Paul, et al., (2012).

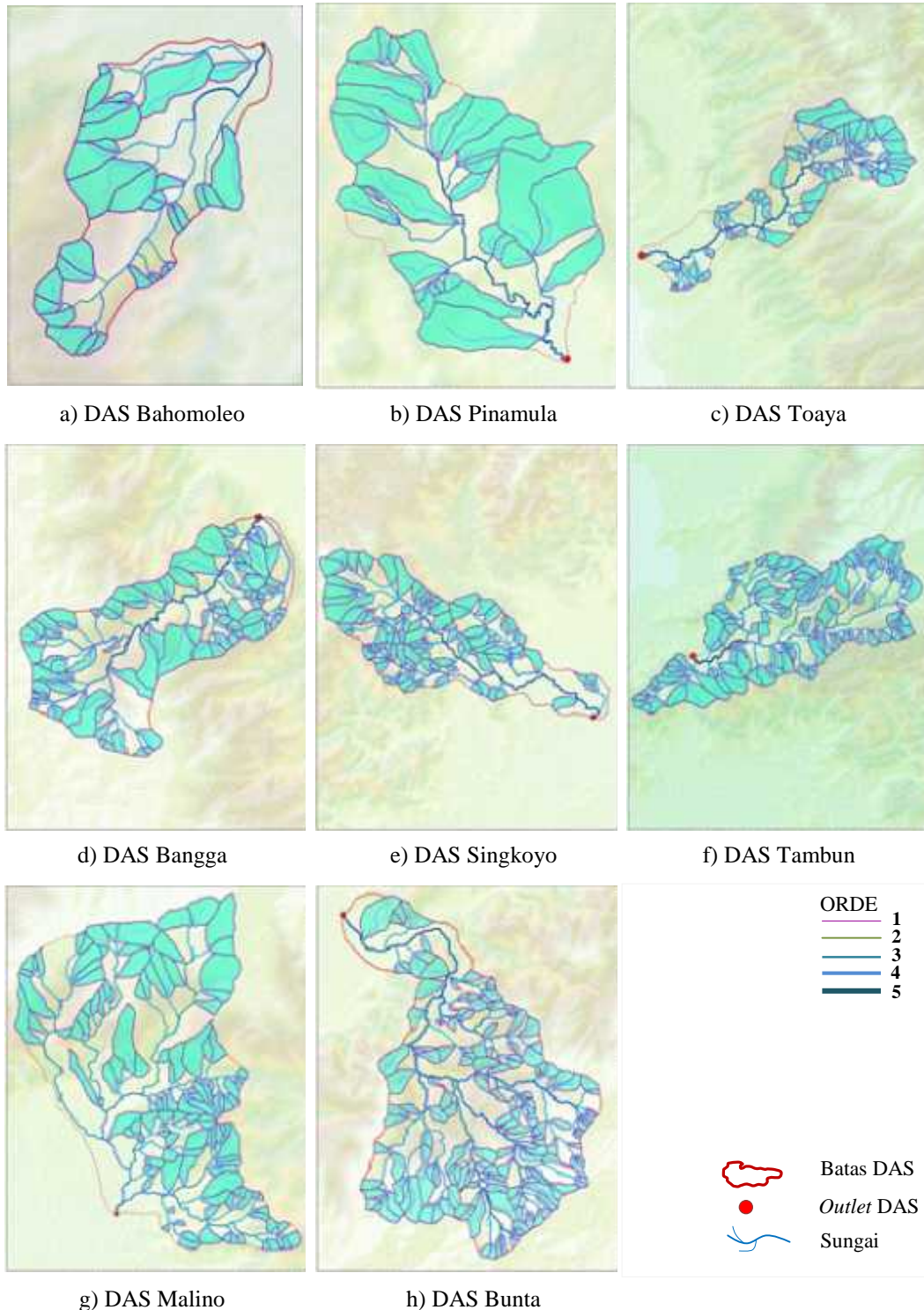
Hubungan antara jumlah ruas (N) yang mewakili ordinat (y) dan orde sungai (\check{S}) yang mewakili absis (x) dapat dibuat untuk masing-masing DAS (Gambar 4.6 poin a-h). Nilai variabel absis dinyatakan dalam bentuk biasa sedangkan nilai variabel ordinat dinyatakan dalam bentuk logaritma. Hubungan antara kedua variabel ini relatif baik dan dinyatakan dalam bentuk regresi linier dengan koefisien determinasi di atas 0.75. Koefisien regresi menyatakan besarnya peningkatan atau penurunan orde sungai (\check{S}) terhadap logaritma jumlah ruas (N).

Berbagai peneliti seperti Kouli, et al. (2007), Rao, et al., (2010), Paul, et al., (2012) dan peneliti-peneliti lainnya menganalogikan konfigurasi jaringan sungai menyerupai bentuk pohon dengan banyak dahan dan ranting. Sungai utama (*main river* atau *main stream*) sebagai batang pohon dan anak-anak sungai (*tributary*) sebagai cabang-cabang pohon. Beberapa ranting bertemu membentuk dahan dan beberapa dahan membentuk batang yang lebih besar dan akhirnya membentuk pohon.



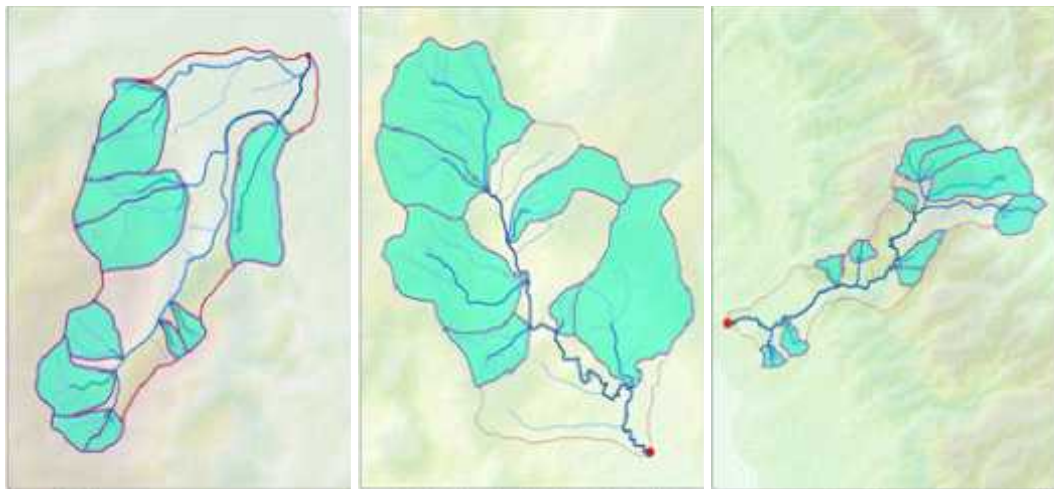
Gambar 4.6 Hubungan antara orde sungai dengan jumlah ruas (segmen)

Luas sub-sub DAS ditetapkan berdasarkan orde masing-masing sungai, dalam hal ini Orde 1 sampai 5. Wilayah sub DAS dari 8 DAS pada masing-masing orde disajikan pada Gambar 4.7 – Gambar 4.11 poin a-h.



Sumber : Peta RBI Tahun 1991

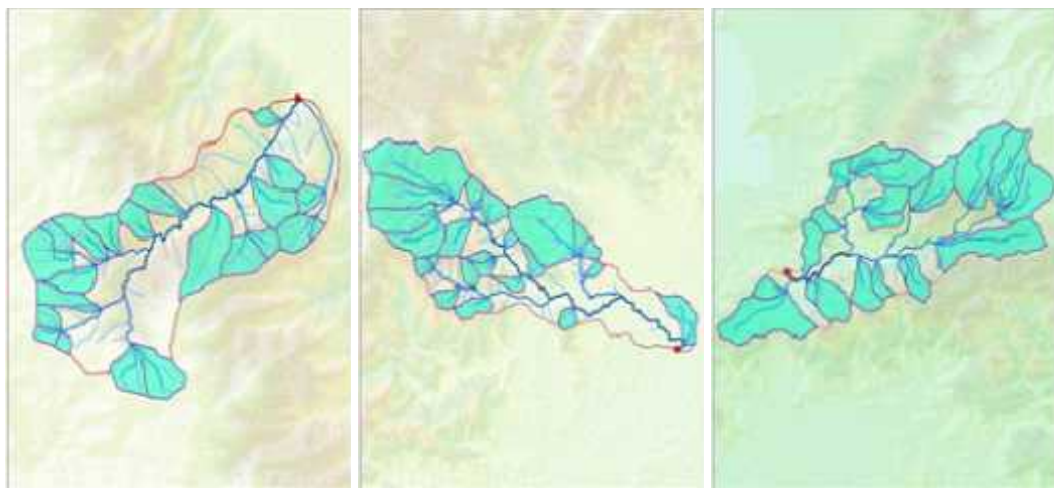
Gambar 4.7 Sub DAS Orde 1



a) DAS Bahomoleo

b) DAS Pinamula

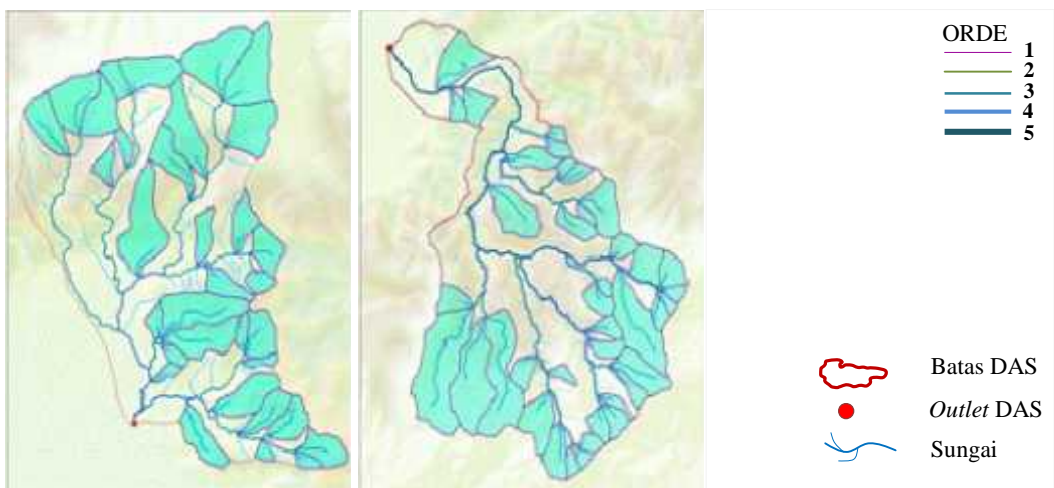
c) DAS Toaya



d) DAS Bangga

e) DAS Singkoyo

f) DAS Tambun

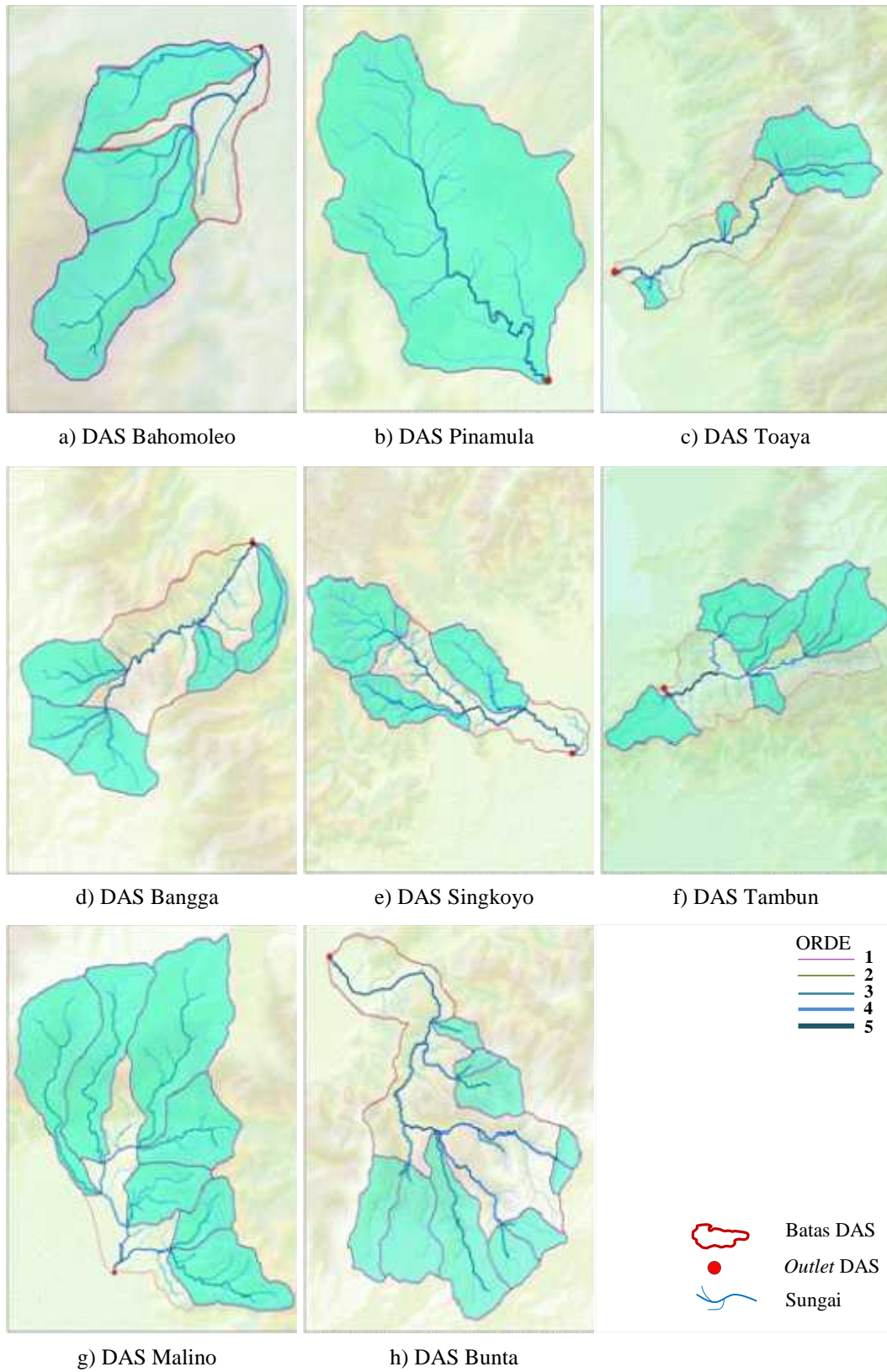


g) DAS Malino

h) DAS Bunta

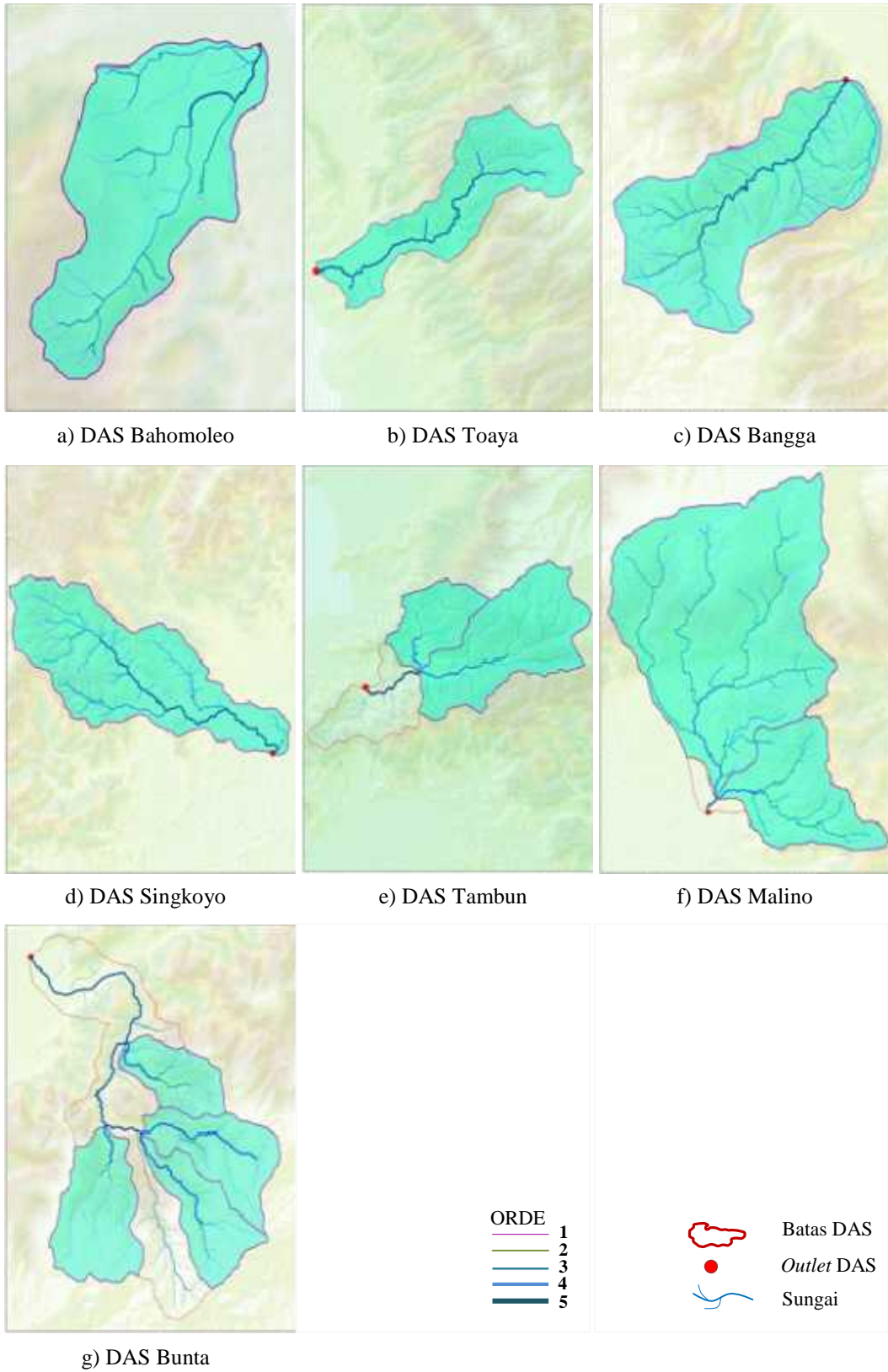
Sumber : Peta RBI Tahun 1991

Gambar 4.8 Sub DAS Orde 2

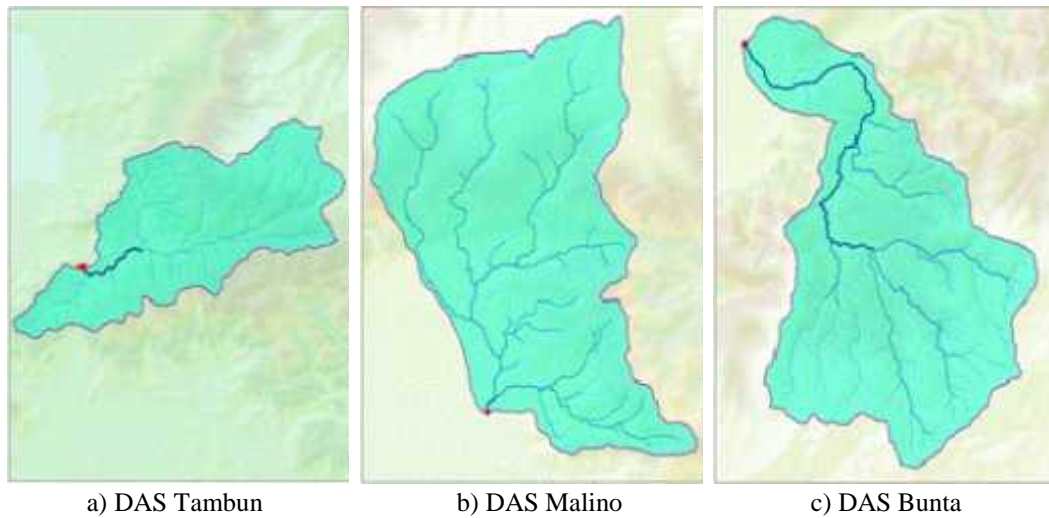


Sumber : Peta RBI Tahun 1991

Gambar 4.9 Sub DAS Orde 3



Sumber : Peta RBI Tahun 1991
 Gambar 4.10 Sub DAS Orde 4



Sumber : Peta RBI Tahun 1991

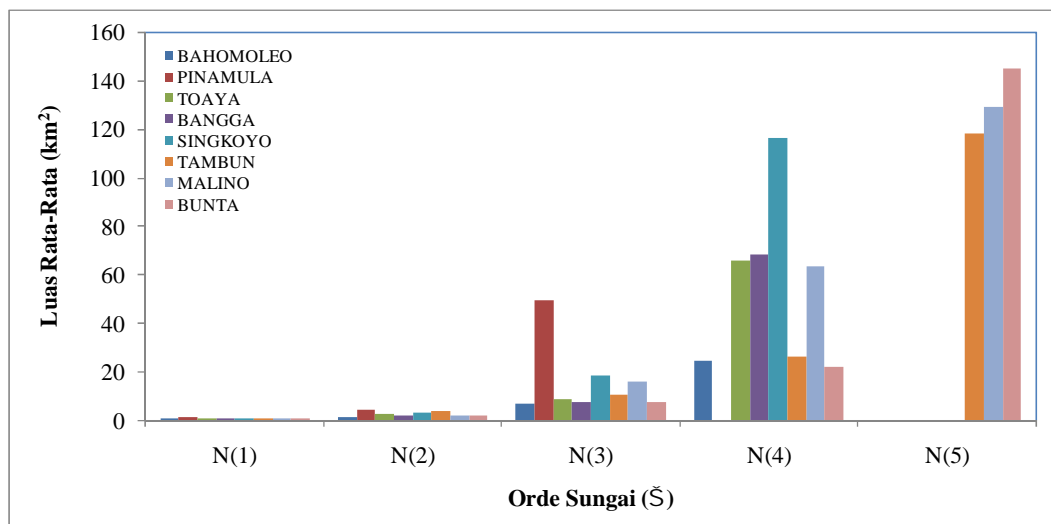
Gambar 4.11 Sub DAS Orde 5

Idealnya luas sub DAS pada masing-masing orde dihitung sepenuhnya menggunakan perangkat berbasis informasi geografis dalam hal ini *Watershed Deleniation Tool* pada Perangkat Lunak ArcGIS. Namun mengingat data topografi berupa kontur dan DEM memiliki resolusi yang rendah, maka analisis dikombinasikan dengan digitasi manual dengan tujuan mengoreksi penyimpangan batas sub DAS yang dibangkitkan oleh komputer. Berdasarkan hasil koreksi tersebut selanjutnya dapat ditetapkan luas masing-masing sub DAS pada setiap orde dengan luas rata-rata seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Luas rata-rata sub DAS berdasarkan orde (km²)

No.	Nama DAS	A(1)	A(2)	A(3)	A(4)	A(5)
1	Bahomoleo	0.35	1.11	6.30	23.88	-
2	Pinamula	1.01	4.55	49.35	-	-
3	Toaya	0.47	2.20	8.32	65.51	-
4	Bangga	0.43	1.40	7.34	68.19	-
5	Singkoyo	0.58	2.83	18.36	116.05	-
6	Tambun	0.57	3.41	10.60	26.32	118.19
7	Malino	0.46	1.90	15.42	62.94	128.75
8	Bunta	0.38	1.81	7.01	21.48	144.73

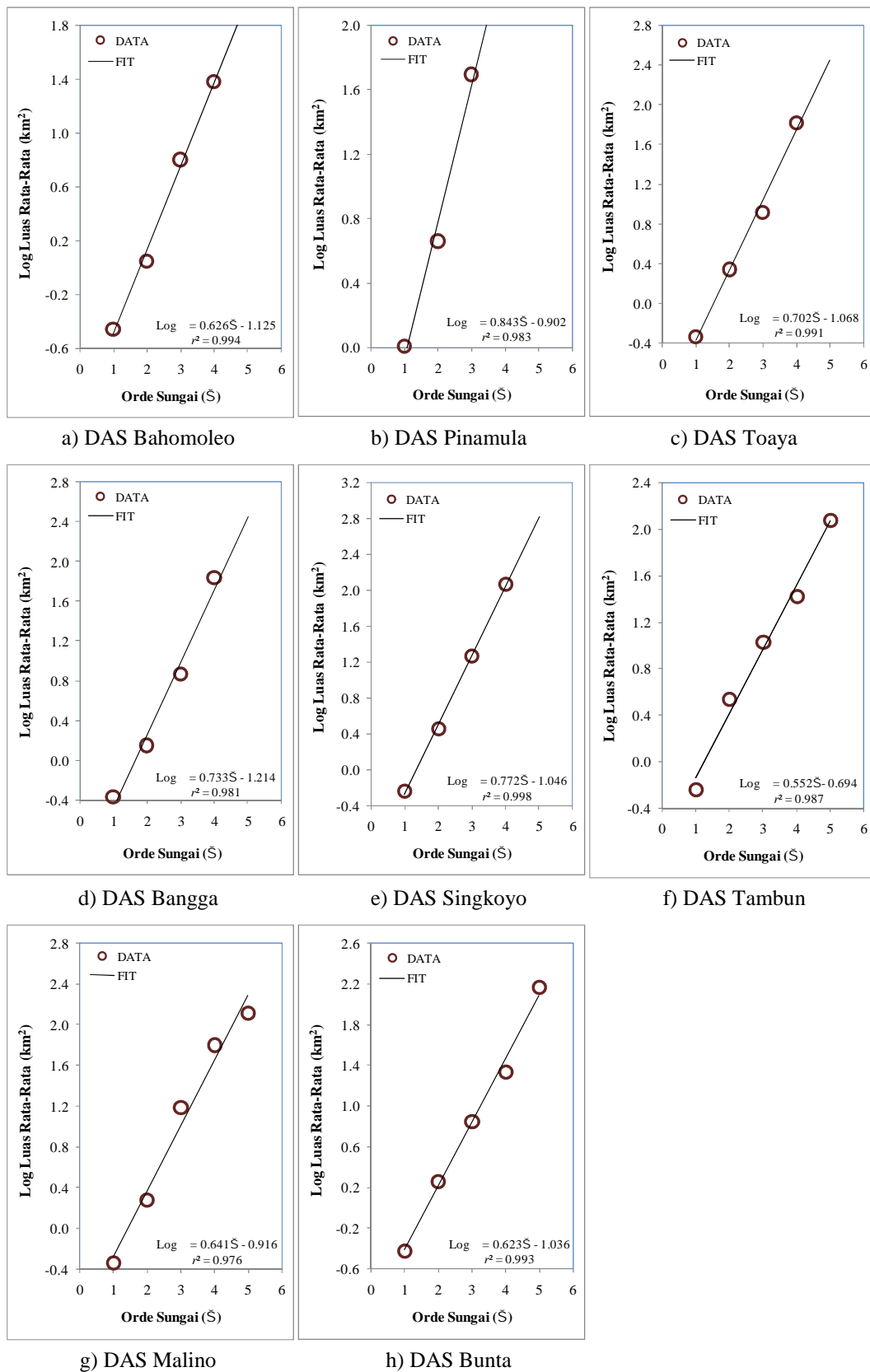
Mengikuti prosedur sebagaimana diterapkan pada jumlah ruas (segmen) berdasarkan orde, juga terlihat hubungan meningkatnya luas DAS rata-rata seiring dengan naiknya orde sungai. Hubungan ini merupakan kebalikan dari kurva jumlah ruas dan orde sungai dan mengikuti bentuk eksponensial (Gambar 4.12).



Gambar 4.12 Luas rata-rata sub DAS berdasarkan orde (km^2)

Bila setiap DAS dibuatkan masing-masing grafik untuk menggambarkan hubungan antara kedua variabel ini, maka terlihat hubungan linier dengan melakukan konversi logaritma pada variabel luas sub DAS rerata (Gambar 4.13 poin a-h). Sebagaimana grafik jumlah ruas dan orde, hubungan antara variabel luas sub DAS rata-rata dan orde sungai juga memperlihatkan korelasi yang baik, masuk dalam kategori sangat baik dengan koefisien determinasi di atas 0.95. Hal ini tentunya serupa dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya sebagaimana berlaku untuk hubungan antara jumlah ruas dan orde sungai (Tunas et al, 2016c).

Namun demikian, perlu dicermati bahwa pada dasarnya luas sub DAS pada orde yang lebih tinggi dapat lebih kecil atau lebih besar tergantung dari banyaknya sub DAS pada orde-orde sebelumnya. Hal ini dapat dijelaskan karena bisa saja ruas sungai pada orde $i-1$ langsung bermuara (bertemu) pada orde $i+1$, sehingga jumlah luas sub DAS pada orde i lebih kecil dari orde $i-1$. Oleh karena itu lebih penting menggambarkan hubungan luas sub DAS rata-rata dengan orde sungai daripada menggambarkan hubungan antara jumlah luas sub DAS dengan orde sungai.



Gambar 4.13 Hubungan antara orde sungai dengan luas sub DAS rata-rata

Sebagaimana telah disampaikan pada Bab 2 sebelumnya, rasio percabangan sungai (R_B) merupakan dimensi properti yang dipengaruhi oleh sistem jaringan sungai (drainase). Secara umum, nilai R_B sangat terkait dengan bentuk hidrograf yang dihasilkan. Bentuk hidrograf akan semakin curam (terjal) baik pada sisi naik maupun pada sisi turun (resesi) seiring dengan meningkatnya nilai R_B (Chow, 1964) dan sebaliknya. Beberapa peneliti memberikan referensi yang berbeda-beda. Untuk sungai-sungai alami, Chow (1964) memberikan nilai R_B pada kisaran 2 - 5. Peneliti lainnya memberikan batasan nilai R_B pada rentang 3–5 (Rodriguez-Iturbe and Valdes, 1979 dan Pareta et al., 2012).

Nilai R_B untuk setiap orde pada 8 DAS yang diteliti meliputi nilai rata-rata R_B ditampilkan pada Tabel 4.6. Bila mengacu pada kisaran nilai R_B seperti yang dikemukakan oleh Chow (1964) dan Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979) serta Pareta (2012), nilai R_B yang dihasilkan oleh setiap DAS agak berbeda dari kisaran tersebut dengan rentang antara 0.85 sampai 5.10. Namun demikian, rentang ini bisa memberikan informasi bahwa sungai-sungai yang diteliti pada beberapa orde memiliki R_B pada ruas hulu lebih rendah dari ruas hilirnya pada orde yang lebih tinggi. Ini berarti bahwa drainase pada ruas hulu memiliki kerapatan lebih rendah dari ruas hilir pada orde yang lebih tinggi, dan dapat terjadi pada setiap DAS tergantung konfigurasi sistem drainase DAS secara keseluruhan.

Tabel 4.6 Rasio Percabangan Sungai (R_B)

No.	Nama DAS	$R_B(1)$	$R_B(2)$	$R_B(3)$	$R_B(4)$	Jumlah	Rerata
1	Bahomoleo	2.27	1.07	4.67	-	8.00	2.67
2	Pinamula	1.62	1.75	-	-	3.37	1.68
3	Toaya	2.31	1.71	0.85	-	4.87	1.62
4	Bangga	2.49	1.61	0.96	-	5.05	1.68
5	Singkoyo	1.96	1.93	1.47	-	5.37	1.79
6	Tambun	1.81	3.83	1.06	2.13	8.83	2.21
7	Malino	2.21	1.22	5.10	5.00	13.53	3.38
8	Bunta	2.28	1.86	1.59	1.42	7.15	1.79

Rasio panjang sungai pada dasarnya dapat mempengaruhi debit puncak (Q_p) dan waktu puncak (T_p) sebagaimana yang dikemukakan oleh Rodriguez-Iturbe and Valdes (1979, dalam Irianto, 2003), dimana nilai R_L berbanding lurus dengan debit puncak dan berbanding terbalik dengan waktu puncak. Untuk sungai-sungai alami, nilai R_B berkisar antara 1.5 – 3.5 (Chow, 1964). Nilai R_L untuk 8 DAS yang diteliti berada pada kisaran 0.59 – 1.67 seperti pada Tabel 4.7, agak berbeda dari kisaran tersebut (Tunas et al, 2016b dan Tunas et al, 2016c).

Tabel 4.7 Rasio Panjang Sungai (R_L)

No.	Nama DAS	$R_L(1)$	$R_L(2)$	$R_L(3)$	$R_L(4)$	Jumlah	Rerata
1	Bahomoleo	1.02	1.26	1.40	-	3.68	1.23
2	Pinamula	0.59	1.47	-	-	2.05	1.03
3	Toaya	0.77	0.83	1.67	-	3.27	1.09
4	Bangga	0.75	1.17	0.80	-	2.71	0.90
5	Singkoyo	0.79	1.08	1.65	-	3.52	1.17
6	Tambun	0.71	1.02	0.85	1.02	3.60	0.90
7	Malino	0.62	1.55	1.18	0.82	4.17	1.04
8	Bunta	0.98	1.00	1.56	1.30	4.64	1.13

Selanjutnya rasio luas DAS (R_A) diperkirakan dapat mempengaruhi waktu mencapai debit puncak (Chow, 1964), dimana nilai R_A berbanding terbalik dengan T_p . Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.8, tampak bahwa rasio luas DAS masing-masing sub DAS bervariasi pada setiap orde dan secara umum tidak memperlihatkan hubungan seiring dengan berkurang atau meningkatnya orde sungai (Tunas et al, 2016b).

Ketiga parameter tersebut (R_B , R_L dan R_A) menyatakan sebaran statistik jaringan sungai berdasarkan Hukum Horton, yang sangat berguna untuk mengetahui struktur fraktal jaringan sungai seperti pada Tabel 4.9. Selain ketiga parameter tersebut, terdapat 1 parameter yang berkaitan dengan jaringan sungai yakni kerapatan jaringan sungai atau kerapatan drainase (D) sehingga parameter ini dianggap berkaitan dengan karakteristik fraktal DAS. Berdasarkan klasifikasi

kerapatan jaringan sungai sebagaimana disampaikan oleh Ratnayake (2004), keseluruhan DAS yang diteliti memiliki kerapatan rendah ($D < 2 \text{ km/km}^2$). Kerapatan jaringan sungai (drainase) diprediksi berpengaruh terhadap laju pengatusan aliran di permukaan DAS, dimana laju pengatusan berbanding lurus dengan kerapatan jaringan sungai, yang berarti bahwa semakin tinggi kerapatan jaringan sungai maka proses pengatusan aliran akan semakin cepat sehingga Q_p akan menjadi lebih besar dan T_p menjadi lebih singkat.

Tabel 4.8 Rasio Luas DAS (R_A)

No.	Nama DAS	$R_A(1)$	$R_A(2)$	$R_A(3)$	$R_A(4)$	Jumlah	Rerata
1	Bahomoleo	3.20	5.67	3.79	-	12.66	4.22
2	Pinamula	4.49	10.84	-	-	15.33	7.67
3	Toaya	4.73	3.78	7.88	-	16.39	5.46
4	Bangga	3.30	5.23	9.28	-	17.81	5.94
5	Singkoyo	4.91	6.49	6.32	-	17.72	5.91
6	Tambun	5.99	3.11	2.48	4.49	16.07	4.02
7	Malino	4.11	8.14	4.08	2.05	18.38	4.62
8	Bunta	4.79	3.87	3.07	6.74	18.47	4.61

Tabel 4.9 Karakteristik fraktal DAS

No	Nama DAS	Kerapatan Jaringan Sungai (D , km/km^2)	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	Rasio Panjang Sungai (R_L)	Rasio Luas DAS (R_A)
1	Bahomoleo	1.80	2.67	1.23	4.22
2	Pinamula	1.24	1.68	1.03	7.67
3	Toaya	1.36	1.62	1.09	5.46
4	Bangga	1.72	1.68	0.90	5.94
5	Singkoyo	1.25	1.79	1.17	5.91
6	Tambun	1.69	2.21	0.90	4.02
7	Malino	1.60	3.38	1.04	4.62
8	Bunta	1.54	1.79	1.16	4.61

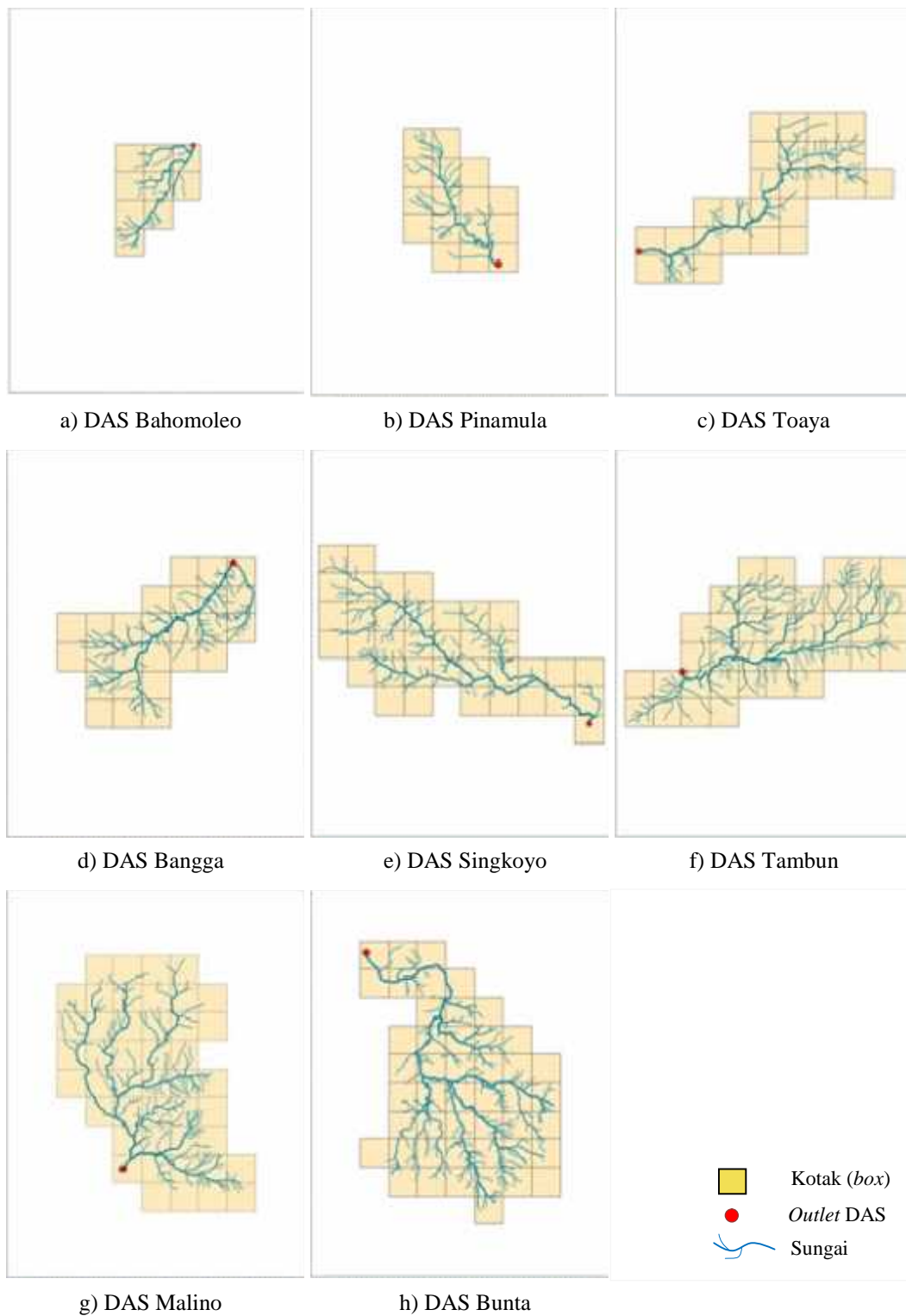
Dimensi fraktal jaringan sungai (D_f) dihitung berdasarkan perbandingan logaritma jumlah rasio percabangan sungai (R_B) dengan logaritma jumlah rasio panjang sungai (R_L) seperti pada Tabel 4.10. Hasil analisis menunjukkan bahwa dimensi fraktal jaringan sungai dari 8 DAS yang dihitung berada pada rentang 1–2 dan memperlihatkan kemiripan dengan hasil studi yang dilakukan oleh Rodrigues dan Iturbe (1977, dalam Irianto, 2003) yang menyatakan kisaran dimensi fraktal jaringan sungai berada pada rentang 1.4 sampai 1.7. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi fraktal dari berbagai bentuk dan ukuran DAS relatif konstan, yang mengindikasikan bahwa jaringan hidrologi sungai mempunyai sifat fraktal yang stabil untuk berbagai tempat dan waktu (Irianto, 2003).

Tabel 4.10 Dimensi fraktal jaringan sungai (Tunas et al, 2016c).

No.	Nama DAS	Jumlah Rasio Percabangan Sungai (R_B)	Jumlah Rasio Panjang Sungai (R_L)	Dimensi Fraktal (D_f)
1	Bahomoleo	8.00	3.68	1.60
2	Pinamula	3.37	2.05	1.69
3	Toaya	4.87	3.27	1.34
4	Bangga	5.05	2.71	1.63
5	Singkoyo	5.37	3.52	1.34
6	Tambun	8.83	3.60	1.70
7	Malino	13.53	4.17	1.82
8	Bunta	7.15	4.64	1.28

Dimensi fraktal jaringan sungai seperti pada Tabel 4.10, dapat diverifikasi menggunakan *Box Counting Method* atau *Box Counting Dimension*. Sesungguhnya metode ini dikembangkan untuk mengakomodasi perhitungan yang tidak dapat dilakukan menggunakan Pers. 2.14, untuk sungai tidak bercabang atau sungai yang tidak memiliki anak-anak sungai terutama ruas-ruas sungai pada DAS bagian hilir. Verifikasi menggunakan metode ini dilakukan terhadap seluruh DAS yang diteliti. Menggunakan metode ini, dapat dibuat hubungan antara jumlah kotak (*box*) dan ukurannya seperti pada Tabel 4.11, berdasarkan hitungan kotak

pada Gambar 4.14 poin a-h, selanjutnya akan digunakan untuk menentukan dimensi fraktal secara grafis (Gambar 4.15 poin a-h)



Sumber : Peta RBI Tahun 1991

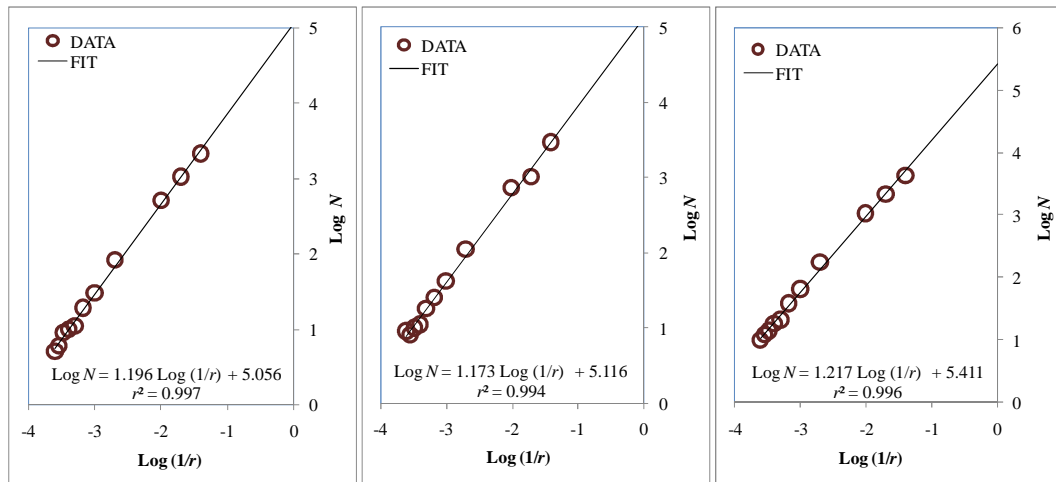
Gambar 4.14 Penentuan ukuran dan jumlah kotak pada *Box Counting Dimension*

Tabel 4.11 Hubungan antara ukuran kotak (r) dan jumlah kotak (N)

No.	Ukuran Kotak (m), r	Jumlah Kotak, N			
		DAS Bahomoleo	DAS Pinamula	DAS Toaya	DAS Bangga
1	4000	5	9	10	9
2	3500	6	8	12	11
3	3000	7	10	14	14
4	2500	8	11	18	20
5	2000	9	16	26	26
6	1500	19	25	38	38
7	1000	30	42	65	75
8	500	82	111	173	219
9	100	511	730	1054	1348
10	50	1038	1028	2146	2755
11	25	2110	2921	4265	5669

No.	Ukuran Kotak (m), r	Jumlah Kotak, N			
		DAS Singkoyo	DAS Tambun	DAS Malino	DAS Bunta
1	4000	14	14	15	17
2	3500	18	17	17	22
3	3000	19	22	22	25
4	2500	23	28	31	34
5	2000	37	47	39	45
6	1500	56	65	68	77
7	1000	108	126	134	154
8	500	287	351	375	424
9	100	1742	2344	2403	2680
10	50	3512	4323	4859	5444
11	25	7118	8858	9787	11060

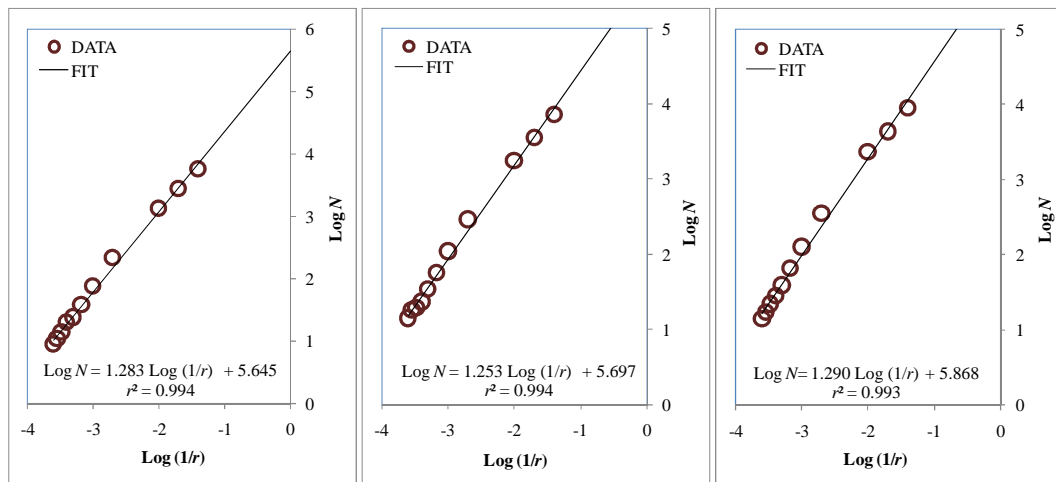
Dimensi fraktal dari metode ini merupakan gradien garis regresi antara jumlah Log (N) dan Log ($1/r$) seperti pada Gambar 4.14 poin a-h, yang memperlihatkan kemiripan dengan dimensi fraktal jaringan sungai pada Tabel 4.10.



a) DAS Bahomoleo

b) DAS Pinamula

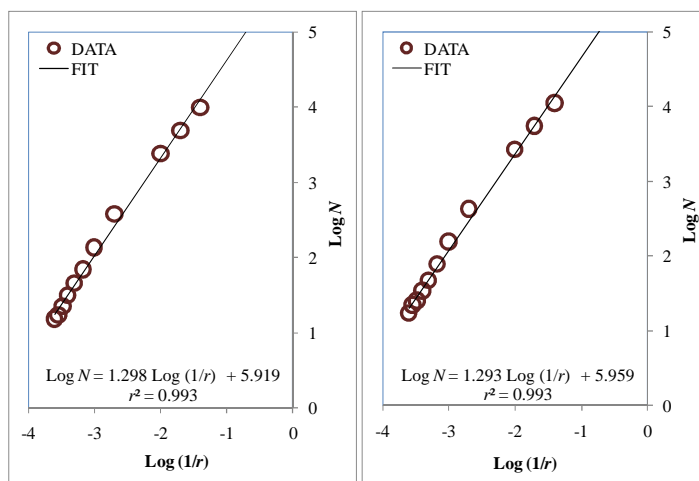
c) DAS Toaya



d) DAS Bangga

e) DAS Singkoyo

f) DAS Tambun



g) DAS Malino

h) DAS Bunta

Keterangan :
 Sumbu x=ukuran kotak
 Sumbu y=jumlah kotak

Gambar 4.15 Dimensi fraktal jaringan sungai menggunakan *Box Counting Dimension*

Hasil analisis dimensi fraktal menggunakan dua metode tersebut disajikan pada Tabel 4.12, dimana dimensi fraktal berada pada rentang 1 - 2.

Tabel 4.12 Dimensi fraktal jaringan sungai menggunakan *Horton's Coefficient Ratio* dan *Box Counting Dimension*

No.	Nama DAS	Dimensi Fraktal (D_f)	
		<i>Horton's Coefficient Ratio</i>	<i>Box Counting Dimension</i>
1	Bahomoleo	1.60	1.20
2	Pinamula	1.69	1.17
3	Toaya	1.34	1.21
4	Bangga	1.63	1.28
5	Singkoyo	1.34	1.25
6	Tambun	1.70	1.29
7	Malino	1.82	1.30
8	Bunta	1.28	1.30

Selain berdasarkan jaringan sungai, dimensi fraktal dapat juga ditetapkan untuk sungai utama dari setiap DAS. Sebagaimana Gambar 2.20 pada Bab 2 (Gordon et al., 2004) yang menyatakan hubungan antara panjang sungai (L) utama dengan luas DAS (A), oleh Hack (1957, dalam Zhou, 2004 dan Reis, 2006) ditemukan persamaan empiris $L=rA^s$, dimana $r=1,4$. Nilai r merupakan tetapan yang diperoleh berdasarkan jumlah DAS yang relatif sangat banyak. Apabila s mewakili koefisien fraktal sungai utama (D_f) yang akan dihitung nilainya seperti pada Tabel 4.13, diperoleh dimensi fraktal antara 1.08 sampai 1.31, menyerupai kisaran dimensi fraktal sungai utama seperti yang disampaikan oleh Rodrigues dan Iturbe (1977, dalam Irianto, 2003) dengan rentang antara 1.2 sampai 1.4. Hal ini menguatkan dan memverifikasi hasil studi tentang dimensi fraktal sungai utama adalah berkisar di antara nilai-nilai tersebut. Adapun angka di belakang koma, berkaitan dengan faktor bifurkasi (percabangan sungai). Semakin besar angka belakang koma, maka bentuk percabangan akan semakin rumit (kompleks) dan sebaliknya (Chow, 1964).

Tabel 4.13 Dimensi fraktal sungai utama

No.	Nama DAS	Luas DAS (A , km ²)	Panjang Sungai Utama (L , km)	Konstanta Dimensi Fraktal (S), $L=1.4A^S$	Dimensi Fraktal ($D_f=2S$)
1	Bahomoleo	23.88	10.32	0.63	1.26
2	Pinamula	49.35	15.64	0.62	1.24
3	Toaya	65.51	21.82	0.66	1.31
4	Bangga	68.19	16.48	0.58	1.17
5	Singkoyo	116.05	26.81	0.62	1.24
6	Tambun	118.19	19.99	0.56	1.11
7	Malino	128.75	19.19	0.54	1.08
8	Bunta	144.73	28.70	0.61	1.21

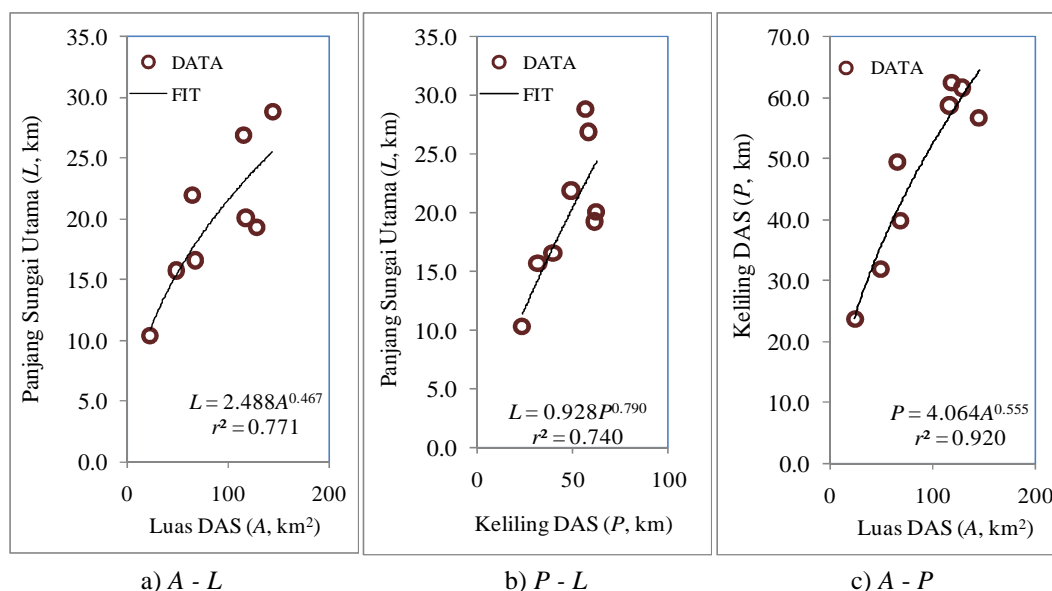
Faktor bentuk DAS dapat juga diinterpretasi dari dimensi fraktal berdasarkan sebagai hubungan antara keliling DAS (P) dengan luas DAS (A). Hubungan antara 2 variabel ini dinyatakan sebagai $P \propto A^{0.5D_f}$ (Cheng et al., 2001 dalam Kouli et al., 2007). Dimensi fraktal bentuk DAS berada pada batasan 1 – 2. Bila dimensi fraktal mendekati 2 maka bentuk DAS semakin tidak teratur (*irregular shape*) dan sebaliknya DAS memiliki bentuk teratur bila dimensi fraktal mendekati 1. Hasil analisis terhadap delapan DAS menggunakan persamaan tersebut diperoleh dimensi fraktal seperti pada Tabel 4.14.

Hasil analisis tersebut sesungguhnya juga menunjukkan adanya hubungan antara parameter luas DAS (A), keliling DAS (P) dan panjang sungai utama (L). Hubungan ini dapat dinyatakan dengan analisis korelasi dan diilustrasikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 4.16 poin a-c. Sebagaimana ditunjukkan pada gambar tersebut tampak bahwa hubungan terbaik dari serangkaian percobaan, menunjukkan bahwa hubungan antara parameter luas DAS (A) dengan panjang sungai utama (L), keliling DAS (P) dengan panjang sungai utama (L) dan luas DAS (A) dengan keliling DAS (P) mengikuti kurva nonlinier atau berpangkat desimal. Hubungan antara parameter tersebut sesungguhnya relatif tidak begitu baik dengan koefisien determinasi masing-

masing sebesar 0.771, 0.740 dan 0.920. Namun demikian koefisien determinasi tersebut setidaknya mencerminkan kecenderungan hubungan antara parameter-parameter DAS (Tunas et al, 2016c).

Tabel 4.14 Dimensi fraktal DAS berdasarkan hubungan keliling (P) dan luas DAS (A).

No.	Nama DAS	Keliling DAS (P, km)	Luas DAS (A, km ²)	Dimensi Fraktal (D _f)
1	Bahomoleo	23.69	23.88	1.78
2	Pinamula	31.78	49.35	1.60
3	Toaya	49.33	65.51	1.70
4	Bangga	39.72	68.19	1.58
5	Singkoyo	58.55	116.05	1.57
6	Tambun	62.22	118.19	1.59
7	Malino	61.41	128.75	1.56
8	Bunta	56.57	144.73	1.49



Gambar 4.16 Hubungan antara parameter luas DAS (A), keliling DAS (P) dan panjang sungai utama (L)

4.4 Karakteristik Hidrograf Banjir

Hidrograf banjir diperlukan untuk mendapatkan hidrograf satuan terukur. Hidrograf satuan terukur diperoleh dari data hujan dan hidrograf banjir pada delapan stasiun hidrologi (hujan) dan hidrometri (AWLR) yang terletak pada masing-masing DAS, dengan referensi geografis seperti pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.17. Data hujan dan hidrograf banjir diambil pada kejadian waktu yang sama, dengan ketentuan hidrograf banjir memiliki puncak tunggal (*single peak*).

Tabel 4.15 Posisi geografis stasiun hidrologi dan hidrometri pada setiap DAS

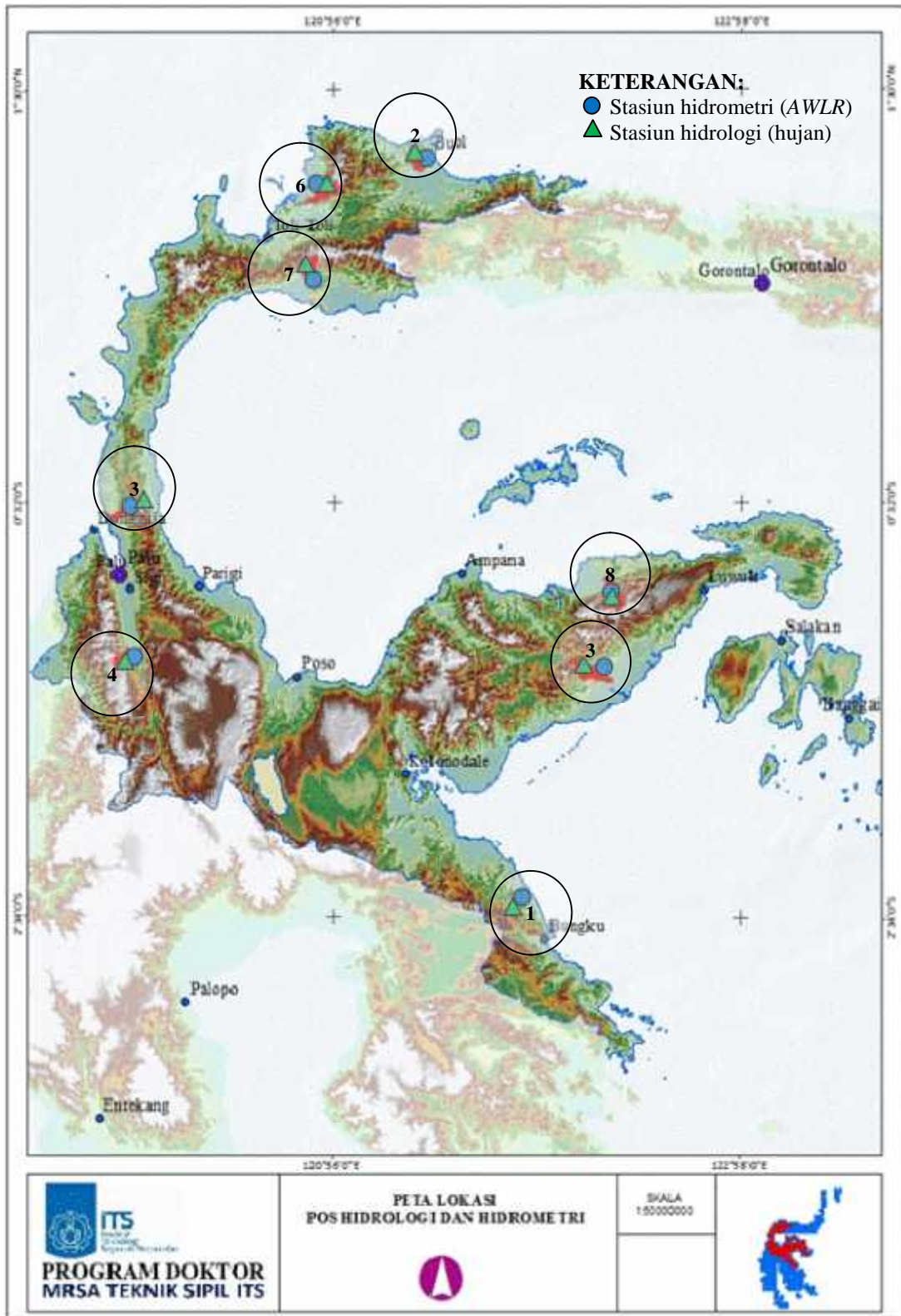
No.	Nama DAS	Stasiun hidrologi (hujan)		Stasiun hidrometri (AWLR)	
		Bujur	Lintang	Bujur	Lintang
1	Bahomoleo	121°53'02"E	02°28'34"S	121°54'16"E	02°27'25"S
2	Pinamula	121°20'01"E	01°09'48"N	121°22'35"E	01°07'07"N
3	Toaya	119°53'25"E	00°33'24"S	119°48'32"E	00°35'41"S
4	Bangga	119°53'32"E	01°17'27"S	119°55'30"E	01°15'39"S
5	Singkoyo	122°12'25"E	01°21'38"S	122°18'24"E	01°24'23"S
6	Tambun	120°52'55"E	01°00'20"N	120°49'36"E	00°59'19"N
7	Malino	120°48'24"E	00°36'42"N	120°47'46"E	00°33'24"N
8	Bunta	122°19'47"E	00°58'32"S	122°16'39"E	00°53'42"S

(Sumber: BWS Sulawesi III, BPDAS Palu-Poso, UPT PSDA I Bongka-Mentawa dan UPT PSDA II Lambunu-Buol)

Berdasarkan identifikasi data Tahun 2009 sampai 2015, diperoleh 81 pasangan data hujan dan banjir seperti pada Tabel 4.16 berikut ini.

Tabel 4.16 Pasangan data hujan dan hidrograf banjir

No.	Nama DAS	Jumlah Data	Tahun
1	Bahomoleo	11	2010
2	Pinamula	12	2013-2014
3	Toaya	10	2013-2014
4	Bangga	11	2015
5	Singkoyo	7	2015
6	Tambun	15	2009
7	Malino	9	2015
8	Bunta	6	2015



Gambar 4.17 Posisi geografis stasiun hidrologi dan hidrometri pada setiap DAS (Sumber : SRTM90 dan RBI Tahun 1991)

4.4.1. Persamaan Lengkung Debit (*Rating Curve*)

Untuk mendapatkan debit jam-jaman diperlukan persamaan lengkung debit yang menyatakan hubungan antara tinggi muka air (TMA) dengan besarnya debit untuk setiap tinggi muka air yang terukur. Persamaan lengkung debit untuk setiap instrumen hidrometri disesuaikan dengan kondisi lokasi alat ukur dan harus selalu dievaluasi secara berkala mengingat kemungkinan terjadinya perubahan dimensi alur sungai akibat tumbuhnya tanaman, gerusan, sedimentasi dan akibat lainnya yang dapat mempengaruhi hubungan antara tinggi muka air dan besarnya debit. Lengkung debit dapat dibuat satu kali bila bentuk penampang sungai pada stasiun hidrometri tidak mengalami perubahan bentuk. Berikut disajikan persamaan lengkung debit alat ukur tinggi muka air (AWLR) pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Persamaan lengkung debit

No.	Stasiun Hidrometri	Persamaan Lengkung Debit	Koefisien Determinasi (r^2)
1	Bahomoleo	$Q=17.512 H^{3.4272}$	0.9456
2	Pinamula	$Q=65.981 H^{1.54031}$	0.9716
3	Toaya	$Q= 45.165 H^{2.6746}$	0.9767
4	Bangga	$Q=4.026(H+0.430)^{1.657}$	
5	Singkoyo	$Q=9.15(H+0.321)^{2.015}$	
6	Tambun	$Q= 29.152 H^{2.3514}$	0.9871
7	Malino	$Q=15.447(H+0.321)^{2.285}$	
8	Bunta	$Q=14.509(H+0.400)^{2.766}$	

(Sumber: BWS Sulawesi III, BPDAS Palu-Poso, UPT PSDA I Bongka-Mentawa dan UPT PSDA II Lambunu-Buol)

4.4.2. Pemilihan (Seleksi) Data

Sebelum digunakan sebagai data untuk menyusun model hidrograf satuan sintetik, terlebih dahulu data hujan dan hidrograf banjir diseleksi dengan pengujian statistik. Analisis statistik untuk pemilihan data dilakukan terhadap jumlah tinggi (kedalaman) hujan jam-jaman dan pasangan jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir. Analisis statistik meliputi uji kepenggahan, abnormalitas dan analisis korelasi pasangan jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir.

Analisis kepanggaan dilakukan untuk mengetahui apakah data tersebut pangah (homogen) dan dapat dipergunakan dalam menganalisis curah hujan, yakni dengan membandingkan Q_{hit} dan R_{hit} dengan Q_{tab} dan R_{tab} . Uji kepanggaan pada dasarnya untuk mengetahui tingkat validitas data, artinya bahwa tidak ada pengaruh yang besar terhadap perekaman data akibat perubahan lingkungan, faktor instrumen (*instrument error*) dan faktor manusia (*human error*) baik dalam perekaman data maupun dalam pengolahan data. Analisis kepanggaan dilakukan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Berdasarkan analisis kepanggaan yang dilakukan seperti pada Tabel 4.18, diperoleh bahwa nilai Q/\sqrt{n}_{hit} dan R/\sqrt{n}_{hit} lebih kecil dari nilai Q/\sqrt{n}_{tab} dan R/\sqrt{n}_{tab} pada Tabel 4.19 untuk $n=81$ dan derajat kepercayaan 95%, berarti data memenuhi syarat kepanggaan dan dapat digunakan.

Tabel 4.18 Analisis kepanggaan data hujan dengan Metode RAPS

No.	Hujan (y_i , mm)	$(y_i - y_{rata})$ dk^*	Dy^2	dk^{**}	dk^{**}
(1)	(2)	(3)=(2)- y_r	(4)=(3) ² / n	(5)=(3)/ Dy	(6)=ABS(5)
1	60.6	36.05	16.05	4.09	4.09
2	50.9	26.39	8.60	2.99	2.99
3	35.8	11.27	1.57	1.28	1.28
4	35.6	11.09	1.52	1.26	1.26
5	35.5	10.97	1.49	1.24	1.24
6	34.4	9.83	1.19	1.11	1.11
7	34.0	9.41	1.09	1.07	1.07
8	33.7	9.11	1.03	1.03	1.03
9	33.7	9.11	1.03	1.03	1.03
10	33.5	8.93	0.99	1.01	1.01
11	33.2	8.63	0.92	0.98	0.98
12	32.8	8.21	0.83	0.93	0.93
13	32.8	8.21	0.83	0.93	0.93
14	32.6	8.09	0.81	0.92	0.92
15	32.5	7.91	0.77	0.90	0.90
16	32.4	7.82	0.76	0.89	0.89
17	32.3	7.79	0.75	0.88	0.88
18	32.0	7.43	0.68	0.84	0.84
19	31.6	7.01	0.61	0.79	0.79
20	31.2	6.65	0.55	0.75	0.75
21	31.0	6.41	0.51	0.73	0.73
22	30.2	5.69	0.40	0.65	0.65

Lanjutan Tabel 4.18 Analisis kepenggahan data hujan dengan Metode RAPS

No.	Hujan (y_i , mm)	$(y_i - y_{rata})$ dk^*	Dy^2	dk^{**}	dk^{**}
(1)	(2)	(3)=(2)- y_r	(4)=(3) ² / n	(5)=(3)/ Dy	(6)=ABS(5)
23	29.5	4.91	0.30	0.56	0.56
24	29.4	4.85	0.29	0.55	0.55
25	29.1	4.55	0.26	0.52	0.52
26	28.9	4.37	0.24	0.50	0.50
27	28.2	3.65	0.16	0.41	0.41
28	27.9	3.35	0.14	0.38	0.38
29	27.8	3.29	0.13	0.37	0.37
30	26.9	2.39	0.07	0.27	0.27
31	26.8	2.21	0.06	0.25	0.25
32	26.5	1.97	0.05	0.22	0.22
33	26.4	1.85	0.04	0.21	0.21
34	26.2	1.67	0.03	0.19	0.19
35	26.2	1.67	0.03	0.19	0.19
36	26.1	1.55	0.03	0.18	0.18
37	25.8	1.25	0.02	0.14	0.14
38	25.7	1.13	0.02	0.13	0.13
39	25.5	0.98	0.01	0.11	0.11
40	25.4	0.83	0.01	0.09	0.09
41	25.3	0.77	0.01	0.09	0.09
42	24.1	-0.43	0.00	-0.05	0.05
43	23.9	-0.67	0.01	-0.08	0.08
44	23.4	-1.15	0.02	-0.13	0.13
45	22.9	-1.63	0.03	-0.18	0.18
46	22.7	-1.81	0.04	-0.20	0.20
47	22.7	-1.81	0.04	-0.20	0.20
48	22.4	-2.17	0.06	-0.25	0.25
49	22.3	-2.29	0.06	-0.26	0.26
50	21.7	-2.89	0.10	-0.33	0.33
51	21.3	-3.25	0.13	-0.37	0.37
52	21.2	-3.31	0.13	-0.37	0.37
53	21.0	-3.55	0.16	-0.40	0.40
54	20.9	-3.67	0.17	-0.42	0.42
55	20.4	-4.15	0.21	-0.47	0.47
56	19.9	-4.69	0.27	-0.53	0.53
57	18.7	-5.89	0.43	-0.67	0.67
58	18.5	-6.01	0.45	-0.68	0.68
59	18.1	-6.43	0.51	-0.73	0.73
60	18.1	-6.43	0.51	-0.73	0.73

Lanjutan Tabel 4.18 Analisis kepenggahan data hujan dengan Metode RAPS

No.	Hujan (y_i , mm)	($y_i - y_{rata}$) dk^*	Dy^2	dk^{**}	dk^{**}		
(1)	(2)	(3)=(2)- y_r	(4)=(3) ² / n	(5)=(3)/ Dy	(6)=ABS(5)		
61	18.0	-6.55	0.53	-0.74	0.74		
62	17.8	-6.79	0.57	-0.77	0.77		
63	17.6	-6.97	0.60	-0.79	0.79		
64	17.4	-7.15	0.63	-0.81	0.81		
65	17.3	-7.21	0.64	-0.82	0.82		
66	17.2	-7.33	0.66	-0.83	0.83		
67	16.0	-8.53	0.90	-0.97	0.97		
68	15.2	-9.31	1.07	-1.05	1.05		
69	15.1	-9.43	1.10	-1.07	1.07		
70	14.9	-9.61	1.14	-1.09	1.09		
71	14.9	-9.67	1.15	-1.10	1.10		
72	14.1	-10.45	1.35	-1.18	1.18		
73	13.6	-10.99	1.49	-1.24	1.24		
74	13.4	-11.17	1.54	-1.27	1.27		
75	11.6	-12.91	2.06	-1.46	1.46		
76	11.1	-13.45	2.23	-1.52	1.52		
77	11.0	-13.57	2.27	-1.54	1.54		
78	10.8	-13.75	2.33	-1.56	1.56		
79	10.5	-14.05	2.44	-1.59	1.59		
80	10.5	-14.05	2.44	-1.59	1.59		
81	10.1	-14.41	2.56	-1.63	1.63		
$\Sigma Y_i =$	1988.22	$\Sigma Dy^2 =$	77.88	$Sk^{**}_{maks} =$	4.085	$ Sk^{**} _{maks} =$	4.085
$Y_r =$	24.55	$Dy =$	8.83	$Sk^{**}_{min} =$	-1.632		
$Q_{hit} =$	4.085	$Q/(n)^{1/2}_{hit} =$	0.454	$Q/(n)^{1/2}_{tab} =$	1.282		
$R_{hit} =$	5.718	$R/(n)^{1/2}_{hit} =$	0.635	$R/(n)^{1/2}_{tab} =$	1.593		

Tabel 4.19 Nilai Statistik Q dan R

N	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.13	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
>100	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Analisis abnormalitas bertujuan untuk mengetahui data hujan abnormal, yang mungkin disebabkan oleh sensitivitas instrumen, pembacaan dan perubahan lingkungan dan penyebab lainnya. Data yang diuji dalam uji abnormalitas adalah data curah hujan yang terbesar dan yang terkecil. Uji tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Iway seperti pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Perhitungan abnormalitas data hujan

<i>Ranking</i>	Hujan (x_i , mm)	$\log(x_i)$	(x_i+b)	$\log(x_i+b)$	$\{\log(x_i + b)\}^2$
1	60.60	1.78	109.23	2.038	4.155
2	50.94	1.71	99.57	1.998	3.993
3	35.82	1.55	84.45	1.927	3.712
4	35.64	1.55	84.27	1.926	3.708
5	35.52	1.55	84.15	1.925	3.706
6	34.38	1.54	83.01	1.919	3.683
7	33.96	1.53	82.59	1.917	3.675
8	33.66	1.53	82.29	1.915	3.669
9	33.66	1.53	82.29	1.915	3.669
10	33.48	1.52	82.11	1.914	3.665
11	33.18	1.52	81.81	1.913	3.659
12	32.76	1.52	81.39	1.911	3.650
13	32.76	1.52	81.39	1.911	3.650
14	32.64	1.51	81.27	1.910	3.648
15	32.46	1.51	81.09	1.909	3.644
16	32.37	1.51	81.00	1.908	3.642
17	32.34	1.51	80.97	1.908	3.642
18	31.98	1.50	80.61	1.906	3.634
19	31.56	1.50	80.19	1.904	3.626
20	31.20	1.49	79.83	1.902	3.618
21	30.96	1.49	79.59	1.901	3.613
22	30.24	1.48	78.87	1.897	3.598
23	29.46	1.47	78.09	1.893	3.582
24	29.40	1.47	78.03	1.892	3.581
25	29.10	1.46	77.73	1.891	3.574
26	28.92	1.46	77.55	1.890	3.571
27	28.20	1.45	76.83	1.886	3.555
28	27.90	1.45	76.53	1.884	3.549
29	27.84	1.44	76.47	1.883	3.548
30	26.94	1.43	75.57	1.878	3.528
31	26.76	1.43	75.39	1.877	3.524

Lanjutan Tabel 4.20 Perhitungan abnormalitas data hujan

<i>Ranking</i>	Hujan (x_i , mm)	$\log(x_i)$	(x_i+b)	$\log(x_i+b)$	$\{\log(x_i + b)\}^2$
32	26.52	1.42	75.15	1.876	3.519
33	26.40	1.42	75.03	1.875	3.516
34	26.22	1.42	74.85	1.874	3.513
35	26.22	1.42	74.85	1.874	3.513
36	26.10	1.42	74.73	1.873	3.510
37	25.80	1.41	74.43	1.872	3.503
38	25.68	1.41	74.31	1.871	3.501
39	25.53	1.41	74.16	1.870	3.498
40	25.38	1.40	74.01	1.869	3.494
41	25.32	1.40	73.95	1.869	3.493
42	24.12	1.38	72.75	1.862	3.466
43	23.88	1.38	72.51	1.860	3.461
44	23.40	1.37	72.03	1.858	3.450
45	22.92	1.36	71.55	1.855	3.440
46	22.74	1.36	71.37	1.854	3.436
47	22.74	1.36	71.37	1.854	3.436
48	22.38	1.35	71.01	1.851	3.427
49	22.26	1.35	70.89	1.851	3.425
50	21.66	1.34	70.29	1.847	3.411
51	21.30	1.33	69.93	1.845	3.403
52	21.24	1.33	69.87	1.844	3.401
53	21.00	1.32	69.63	1.843	3.396
54	20.88	1.32	69.51	1.842	3.393
55	20.40	1.31	69.03	1.839	3.382
56	19.86	1.30	68.49	1.836	3.370
57	18.66	1.27	67.29	1.828	3.341
58	18.54	1.27	67.17	1.827	3.339
59	18.12	1.26	66.75	1.824	3.329
60	18.12	1.26	66.75	1.824	3.329
61	18.00	1.26	66.63	1.824	3.326
62	17.76	1.25	66.39	1.822	3.320
63	17.58	1.25	66.21	1.821	3.316
64	17.40	1.24	66.03	1.820	3.311
65	17.34	1.24	65.97	1.819	3.310
66	17.22	1.24	65.85	1.819	3.307
67	16.02	1.20	64.65	1.811	3.278
68	15.24	1.18	63.87	1.805	3.259
69	15.12	1.18	63.75	1.804	3.256

Lanjutan Tabel 4.20 Perhitungan abnormalitas data hujan

Ranking	Hujan (x_i , mm)	$\log(x_i)$	(x_i+b)	$\log(x_i+b)$	$\{\log(x_i + b)\}^2$		
70	14.94	1.17	63.57	1.803	3.252		
71	14.88	1.17	63.51	1.803	3.250		
72	14.10	1.15	62.73	1.797	3.231		
73	13.56	1.13	62.19	1.794	3.217		
74	13.38	1.13	62.01	1.792	3.213		
75	11.64	1.07	60.27	1.780	3.169		
76	11.10	1.05	59.73	1.776	3.155		
77	10.98	1.04	59.61	1.775	3.152		
78	10.80	1.03	59.43	1.774	3.147		
79	10.50	1.02	59.13	1.772	3.139		
80	10.50	1.02	59.13	1.772	3.139		
81	10.14	1.01	58.77	1.769	3.130		
Jumlah	1988.22	110.27	5927.22	150.768	280.840		
Rerata	24.55	1.36	73.18	$X_o = 1.861$	$X_o^2 = 3.467$		
$x_o = 22.98$		Standar Deviasi (S) = 0.051					
Perhitungan b		$n = 81$		$m = 8$		$\alpha = 5\%$	
No.	x_s	x_t	$x_s x_t$	$x_s + x_t$	$x_s x_t - x_o^2$	$\frac{2x_o - (x_s + x_t)}{(x_s + x_t)}$	b_i
1	60.60	10.14	614.48	70.74	86.30	-24.78	-3.48
2	50.94	10.50	534.87	61.44	6.68	-15.48	-0.43
3	35.82	10.50	376.11	46.32	-152.08	-0.36	427.96
4	35.64	10.80	384.91	46.44	-143.28	-0.48	301.40
5	35.52	10.98	390.01	46.50	-138.18	-0.54	258.10
6	34.38	11.10	381.62	45.48	-146.57	0.48	-302.43
7	33.96	11.64	395.29	45.60	-132.89	0.36	-364.45
8	33.66	13.38	450.37	47.04	-77.82	-1.08	72.36
$\hat{\epsilon}_o = 1 - (1 - \alpha)^{1/n} =$		0.001	0.06	%	$b = 48.63$		

Selanjutnya berdasarkan hasil analisis, dapat diuji data hujan maksimum dan minimum dengan ketentuan bahwa jika laju abnormalitas ($\hat{\epsilon}$) < harga batas untuk penyingkiran (ϵ_o), maka hujan maksimum dan minimum dapat diabaikan. Menggunakan koefisien pada Tabel 4.22 atau Gambar 4.18 untuk analisis data, hasil uji abnormalitas disajikan pada Tabel 4.21, dimana hasil uji menunjukkan bahwa hanya satu buah data tidak memenuhi syarat abnormalitas. Dengan demikian analisis selanjutnya hanya menggunakan 80 data.

Tabel 4.21 Hasil uji abnormalitas data hujan

No.	Tinggi hujan (mm)	Faktor abnormalitas, $x\hat{\epsilon}$	Derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}$ (%)	Keterangan
1	60.60	1.715	< 0.05	diabaikan
2	50.94	2.686	0.486	Tidak diabaikan
3	35.82	1.282	10.908	Tidak diabaikan
4	35.64	1.264	11.174	Tidak diabaikan
5	35.52	1.251	11.352	Tidak diabaikan
6	34.38	1.135	13.475	Tidak diabaikan
7	33.96	1.092	14.585	Tidak diabaikan
8	33.66	1.061	15.382	Tidak diabaikan
9	13.38	1.353	9.868	Tidak diabaikan
10	11.64	1.595	6.312	Tidak diabaikan
11	11.10	1.672	5.188	Tidak diabaikan
12	10.98	1.689	4.967	Tidak diabaikan
13	10.80	1.715	4.772	Tidak diabaikan
14	10.50	1.758	4.445	Tidak diabaikan
15	10.50	1.758	4.445	Tidak diabaikan
16	10.14	1.810	4.050	Tidak diabaikan

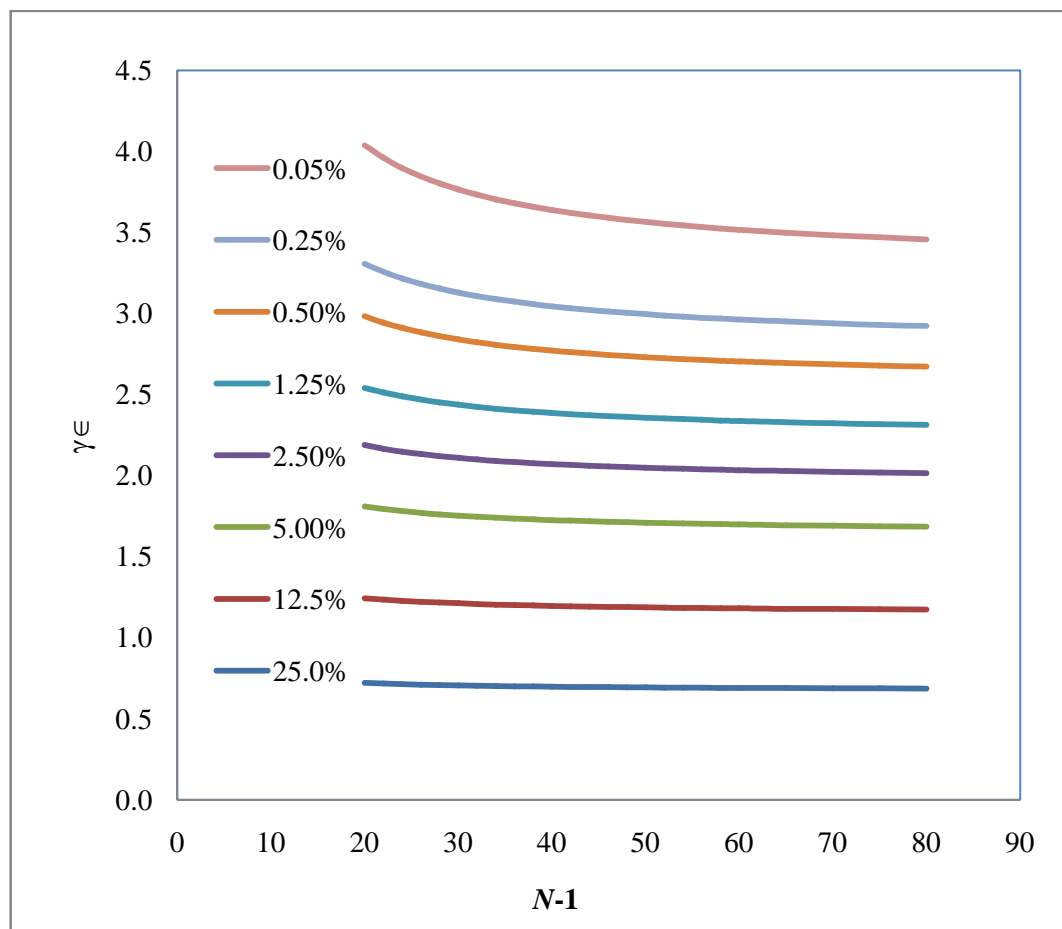
Tabel 4.22 Koefisien yang sesuai dengan derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}=1/T$

N-1	Derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}$							
	25 %	12.5%	5%	2.5%	1.25%	0.50%	0.25%	0.05%
30	0.7052	1.2120	1.7530	2.1090	2.4370	2.8400	3.1290	3.7660
32	0.7033	1.2080	1.7460	2.1000	2.4240	2.8230	3.1080	3.7340
34	0.7015	1.2040	1.7400	2.0910	2.4130	2.8080	3.0890	3.7050
36	0.7000	1.2010	1.7350	2.0840	2.4030	2.7940	3.0730	3.6810
38	0.6987	1.1990	1.7300	2.0770	2.3950	2.7820	3.0580	3.6590
40	0.6975	1.1960	1.7250	2.0710	2.3860	2.7710	3.0450	3.6390
42	0.6963	1.1940	1.7220	2.0660	2.3790	2.7620	3.0330	3.6210
44	0.6953	1.1920	1.7180	2.0610	2.3730	2.7530	3.0220	3.6050
46	0.6945	1.1900	1.7150	2.0560	2.3670	2.7450	3.0130	3.5910
48	0.6936	1.1890	1.7120	2.0520	2.3620	2.7380	3.0040	3.5770

Lanjutan Tabel 4.22 Koefisien yang sesuai dengan derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}=1/T$

N-1	Derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}$							
	25%	12.5%	5%	2.5%	1.25%	0.50%	0.25%	0.05%
50	0.6929	1.1870	1.7090	2.0490	2.3570	2.7310	2.9960	3.5650
52	0.6922	1.1850	1.7070	2.0450	2.3520	2.7250	2.9880	3.5540
54	0.6916	1.1840	1.7040	2.0420	2.3480	2.7190	2.9810	3.5440
56	0.6909	1.1830	1.7020	2.0390	2.3440	2.7140	2.9740	3.5340
58	0.6904	1.1820	1.7000	2.0360	2.3400	2.7090	2.9690	3.5250
60	0.6898	1.1810	1.6980	2.0330	2.3370	2.7040	2.9630	3.5170
65	0.6887	1.1780	1.6940	2.0280	2.3300	2.6940	2.9510	3.4990
70	0.6876	1.1770	1.6910	2.0230	2.3230	2.6860	2.9400	3.4830
75	0.6868	1.1750	1.6880	2.0190	2.3180	2.6780	2.9300	3.4710
80	0.6860	1.1730	1.6850	2.0150	2.3130	2.6720	2.9230	3.4580

Sumber: Sasrodarsono, 1993



Gambar 4.18 Koefisien yang sesuai dengan derajat abnormalitas, $\hat{\epsilon}=1/T$ (Sasrodarsono, 1993)

Analisis korelasi dilakukan terhadap pasangan jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir. Apabila kedua kelompok data tersebut memiliki korelasi yang baik (diasumsikan di atas 70%), maka data tersebut akan digunakan sebagai data penyusun model. Bila kedua data tidak memiliki korelasi yang baik, maka satu pasang atau beberapa pasang data yang diduga menjadi penyebab dikeluarkan (diabaikan). Prosedur ini diulangi sampai kedua data memiliki korelasi yang baik.

Asumsi yang diambil dengan korelasi di atas 70%, didasarkan pada berbagai pendapat bahwa hubungan antara hujan (total) dengan banjir sangat dipengaruhi oleh beragam faktor terutama sifat (distribusi) hujan dan karakteristik daerah aliran sungai (Subramanya, 2005). Sangat sering dijumpai hujan dengan intensitas tinggi berdurasi singkat yang memiliki jumlah yang hampir sama dengan hujan berintensitas rendah berdurasi lama memiliki debit puncak yang tidak sama (berbeda). Selain itu juga analisis korelasi semua data untuk 8 DAS yang diobservasi, sesungguhnya sangat sulit untuk dilakukan mengingat sangat kompleksnya faktor yang mempengaruhi transformasi hujan menjadi debit (banjir). Sebagai ilustrasi hujan dengan intensitas dan durasi yang sama akan menghasilkan debit puncak yang berbeda pada 2 DAS dengan luas yang sama tetapi memiliki karakteristik DAS yang berbeda. Namun demikian untuk memberikan ilustrasi tentang analisis korelasi ini, pengujian tetap dilakukan baik secara bersama-sama untuk seluruh DAS maupun untuk masing-masing DAS yang diobservasi. Analisis korelasi pada seluruh DAS dilakukan untuk 81 pasang data hujan total dan puncak banjir (Gambar 4.19a), selanjutnya data yang menyebabkan angka korelasi rendah dihilangkan (Gambar 4.19b) dengan perubahan angka korelasi seperti pada Tabel 4.23.

Terlihat pada Tabel 4.23, hasil analisis korelasi secara bersama-sama pada seluruh DAS baik menggunakan 81 pasang data maupun 75 pasang data tidak memberikan peningkatan angka korelasi yang signifikan dan masih di bawah 50%. Hal ini tentunya harus dipahami sebagaimana telah disampaikan sebelumnya bahwa debit (puncak) di sungai selain dipengaruhi oleh tinggi hujan juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik DAS terutama luas DAS (Sasrodarsono, 1993 dan Sri Harto, 1985). Namun apabila seluruh luas DAS yang

digunakan memiliki angka deviasi yang rendah, maka analisis ini akan sangat mungkin memperlihatkan kinerja yang baik (Tunas et al, 2015b).

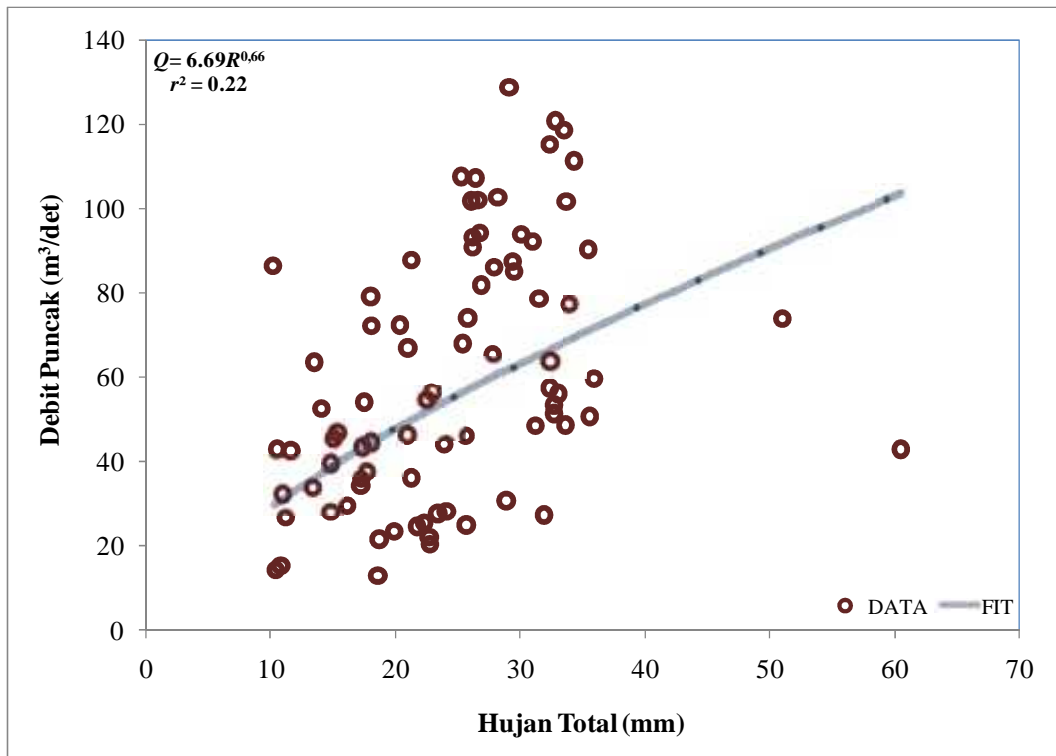
Tabel 4.23 Jumlah pasangan data hujan total–debit puncak dan angka korelasinya pada data seluruh DAS

No	Nama DAS	Angka Korelasi (<i>r</i>)	
		81 Pasang Data	75 Pasang Data
1	Bahomoleo, Pinamula, Toaya, Bangsa, Singkoyo, Tambun, Malino, Bunta	0.47	0.56

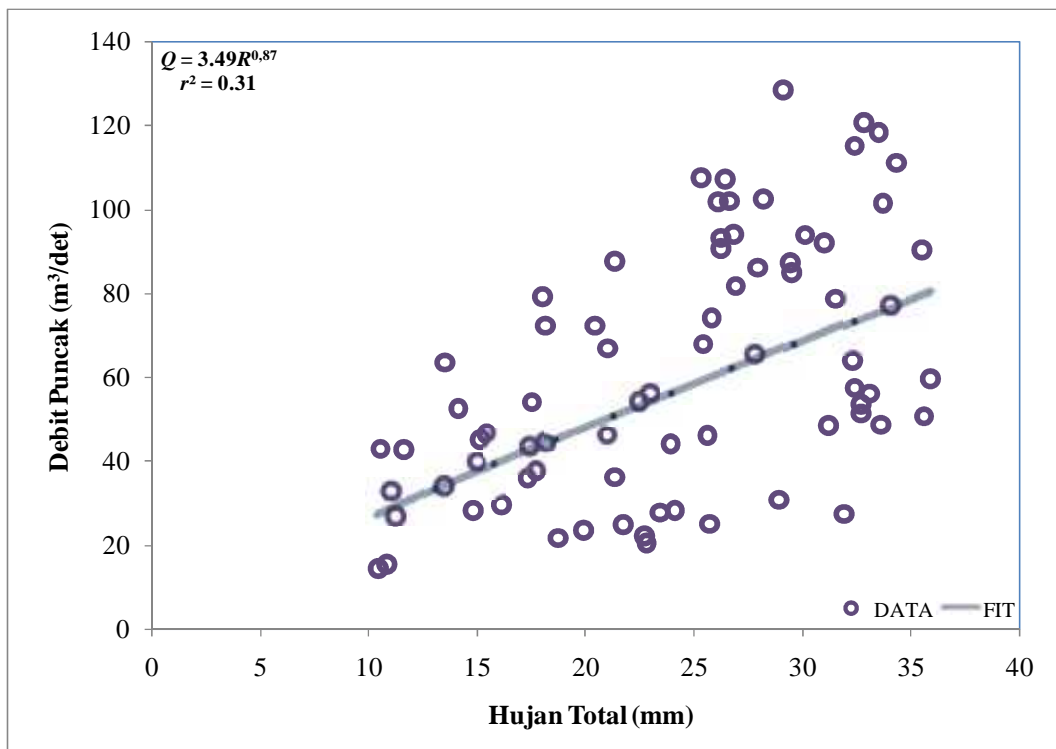
Mengantisipasi kelemahan hasil uji tersebut, maka analisis korelasi dilakukan terhadap masing – masing DAS yang diobservasi seperti disajikan pada Tabel 4.24, Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 poin a-h. Seperti terlihat pada Tabel 4.24, pengurangan beberapa pasang data pada DAS Bangsa, Singkoyo, Tambun, Malino dan Bunta mampu meningkatkan angka korelasi dari <70 % menjadi >70%. Berdasarkan hasil analisis ini dapat diperkirakan bahwa dua pasang data tersebut telah memiliki kesebandingan yang proporsional dengan data-data lainnya. dimana kedua kelompok data memiliki hubungan sebab–akibat.

Tabel 4.24 Jumlah pasangan data hujan total–debit puncak dan angka korelasinya pada data masing–masing DAS

No	Nama DAS	81 Pasang Data		75 Pasang Data	
		Jumlah Data Per DAS	Angka Korelasi	Jumlah Data Per DAS	Angka Korelasi
1	Bahomoleo	11	0.88	11	0.88
2	Pinamula	12	0.89	12	0.89
3	Toaya	10	0.80	10	0.80
4	Bangsa	11	0.51)*	9	0.85
5	Singkoyo	7	0.62)*	6	0.96
6	Tambun	15	0.56)*	14	0.86
7	Malino	9	0.57)*	8	0.85
8	Bunta	6	0.64)*	5	0.85

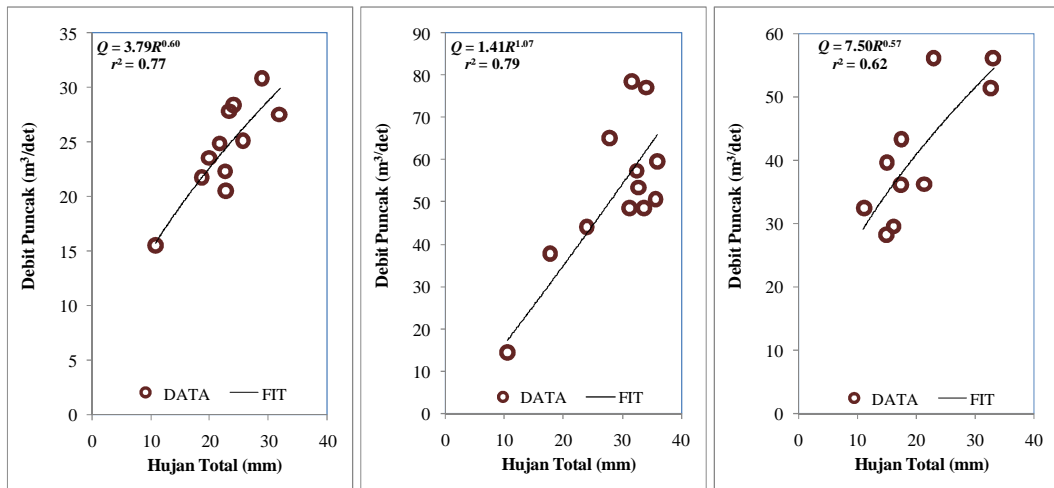


a) 81 pasang data



a) 75 pasang data

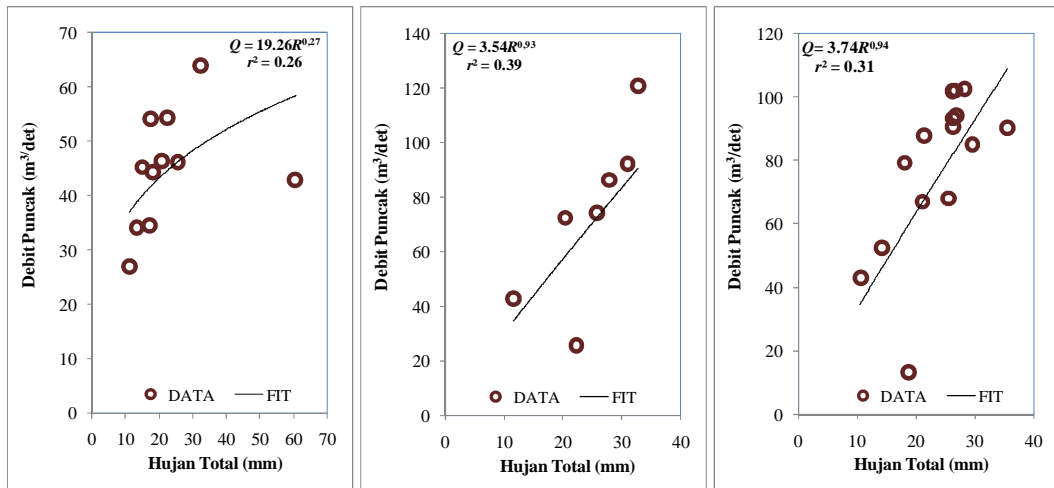
Gambar 4.19 Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir



a) DAS Bahomoleo

b) DAS Pinamula

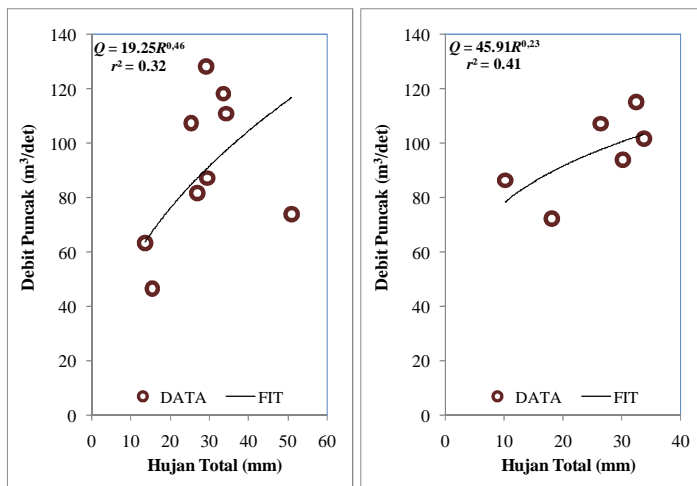
c) DAS Toaya



d) DAS Bangga

e) DAS Singkoyo

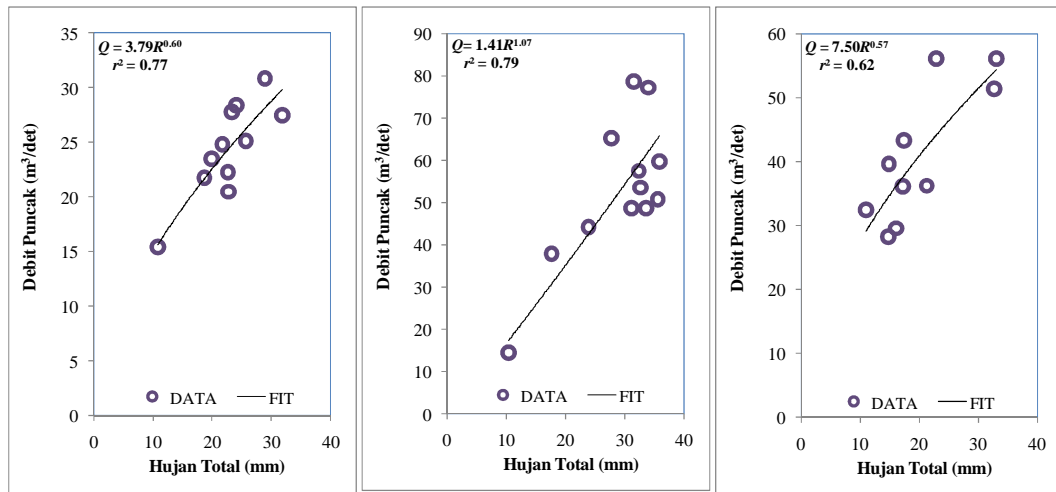
f) DAS Tambun



g) DAS Malino

h) DAS Bunta

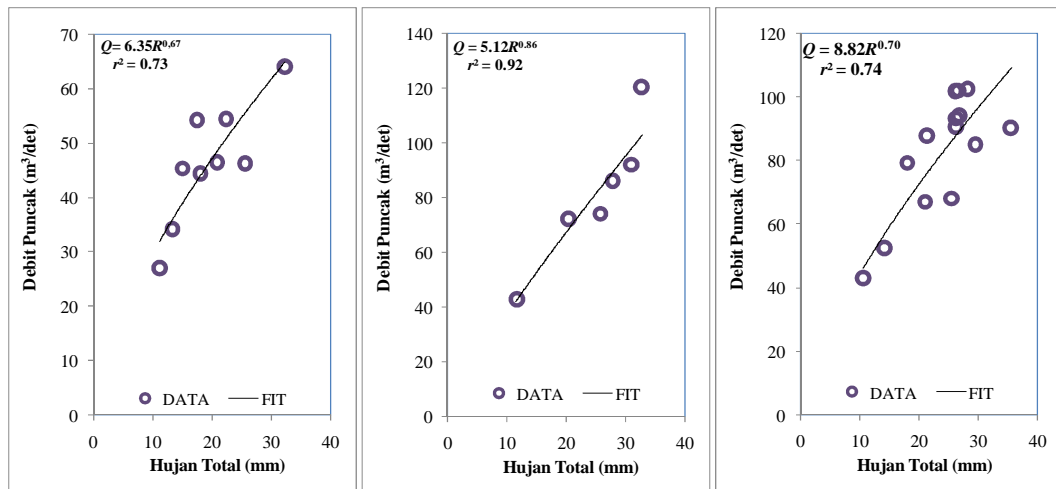
Gambar 4.20 Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam–jaman dan debit puncak hidrograf banjir (81 pasang data)



a) DAS Bahomoleo

b) DAS Pinamula

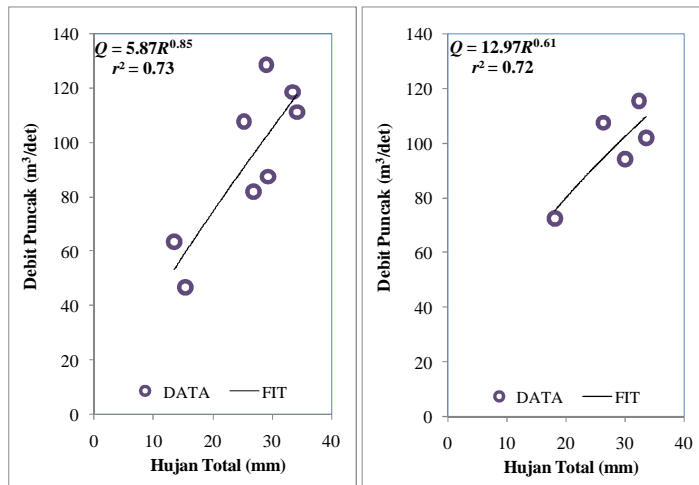
c) DAS Toaya



d) DAS Bangsa

e) DAS Singkoyo

f) DAS Tambun



g) DAS Malino

h) DAS Bunta

Gambar 4.21 Analisis korelasi jumlah tinggi hujan jam-jaman dan debit puncak hidrograf banjir (75 pasang data)

Berdasarkan serangkaian analisis statistik tersebut, dapat diketahui bahwa jumlah data yang akan digunakan untuk menyusun model sebanyak 75 buah data, dimana 6 buah data diabaikan (dikeluarkan).

4.4.3. Pola Distribusi Hujan

Pola distribusi hujan ditetapkan berdasarkan jumlah data hujan yang memenuhi persyaratan uji statistik, dalam hal ini berjumlah 75 buah data hujan. Data hujan tersebut dikelompokkan berdasarkan lama hujan dan frekuensi kejadian hujan. Secara umum data hujan yang tercatat berdurasi 2 sampai 5 jam dengan durasi hujan dominan 4 jam (Tunas dkk, 2015b). Durasi dan frekuensi kejadian hujan diperlihatkan pada Tabel 4.25.

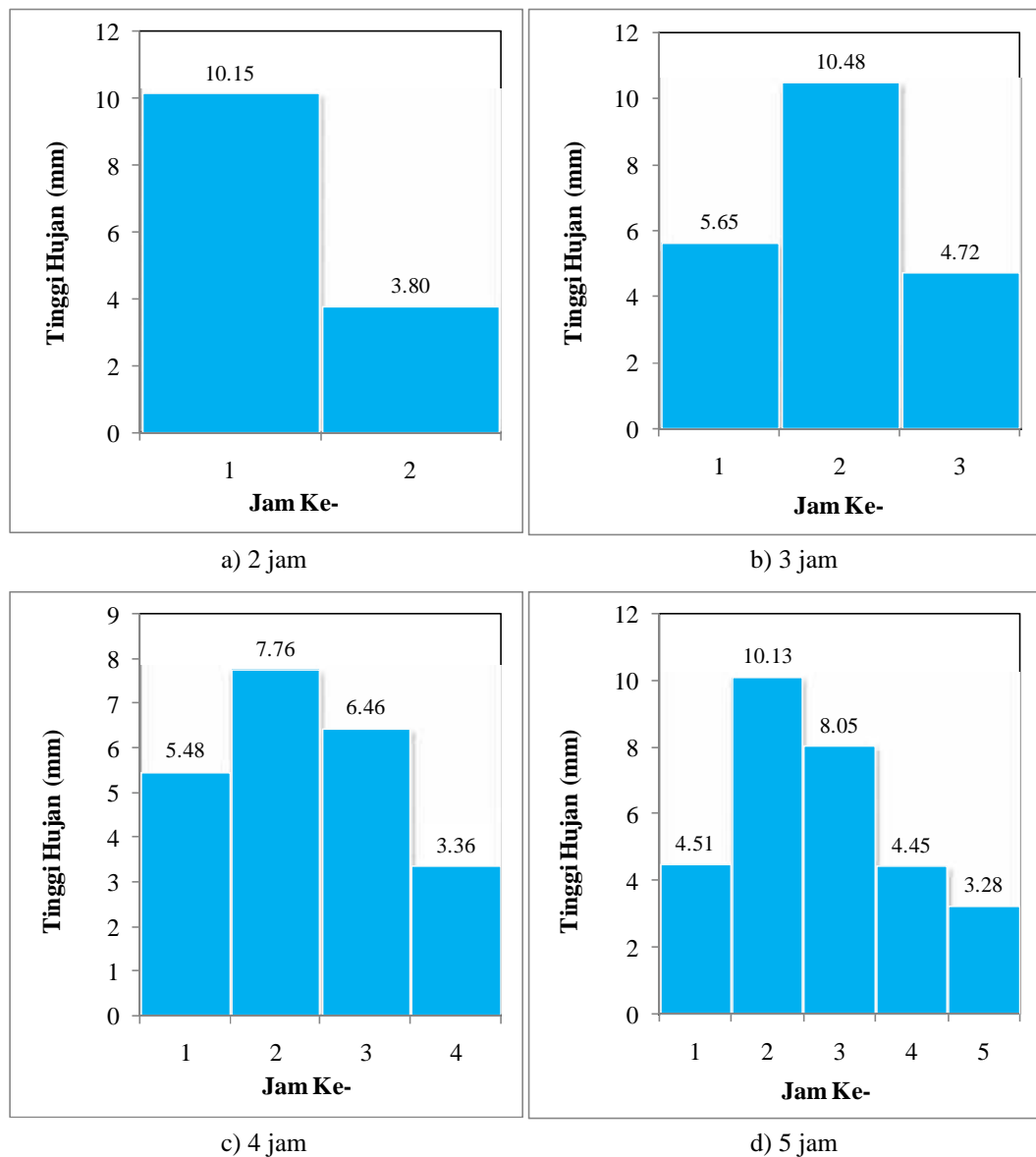
Tabel 4.25 Durasi dan frekuensi kejadian hujan

No.	Durasi hujan (jam)	Frekuensi kejadian hujan	Persentase kejadian hujan (%)
1	2	4	5.33
2	3	11	14.67
3	4	41	54.67
4	5	19	25.33
Jumlah		75	100

Berdasarkan frekuensi kejadian hujan pada masing-masing durasi, selanjutnya dapat ditetapkan pola distribusi hujan rata-rata yang mewakili masing-masing durasi hujan. Pola distribusi hujan rata-rata untuk masing-masing durasi disajikan pada Tabel 4.26 dan Gambar 4.22 poin a-d berikut ini.

Tabel 4.26 Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan tinggi hujan

No.	Durasi (jam)	Tinggi Hujan (mm)					Jumlah
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	
1	2	10.15	3.80				13.95
2	3	5.65	10.48	4.72			20.85
3	4	5.48	7.76	6.46	3.36		23.05
4	5	4.51	10.13	8.05	4.45	3.28	30.42

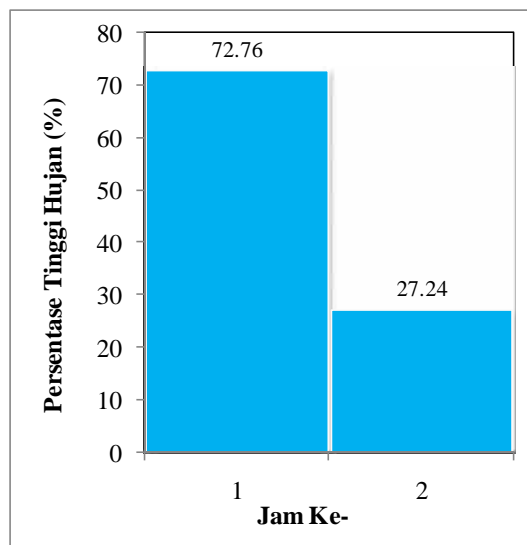


Gambar 4.22 Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan tinggi hujan

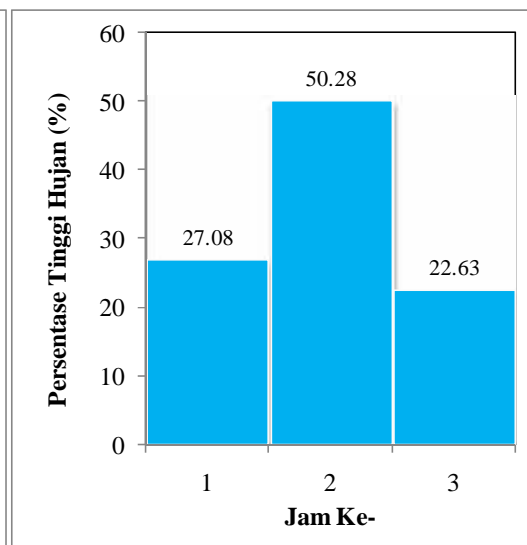
Pola distribusi hujan rata-rata dapat ditransformasi menjadi persentase pola distribusi hujan, sehingga dapat digunakan untuk berbagai tinggi hujan pada masing-masing durasi. Persentase pola distribusi hujan rata-rata disajikan pada Tabel 4.27 dan Gambar 4.23 poin a-d. Bila dicermati lebih lanjut, tipikal pola distribusi hujan jam-jaman di daerah penelitian lebih mendekati pola distribusi segi tiga dan *alternating block methods* (ABM) (Tunas et al, 2016a). Kedua metode ini mempunyai puncak hampir di tengah-tengah durasi hujan. Namun demikian secara umum bisa saja pola distribusi hujan ini berubah-ubah akibat berbagai pengaruh seperti perubahan iklim (Sujono, 2007 dan Triatmodjo, 2008).

Tabel 4.27 Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan persentase tinggi hujan

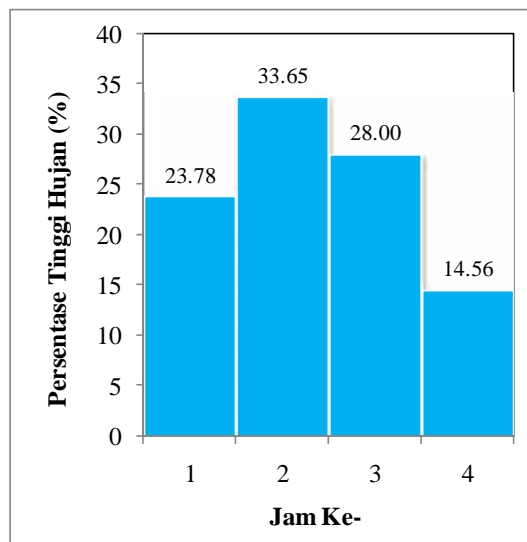
No.	Durasi (jam)	Persentase Tinggi Hujan (%)					Jumlah
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	
1	2	72.76	27.24				100
2	3	27.08	50.28	22.63			100
3	4	23.78	33.65	28.00	14.56		100
4	5	14.83	33.30	26.45	14.64	10.78	100



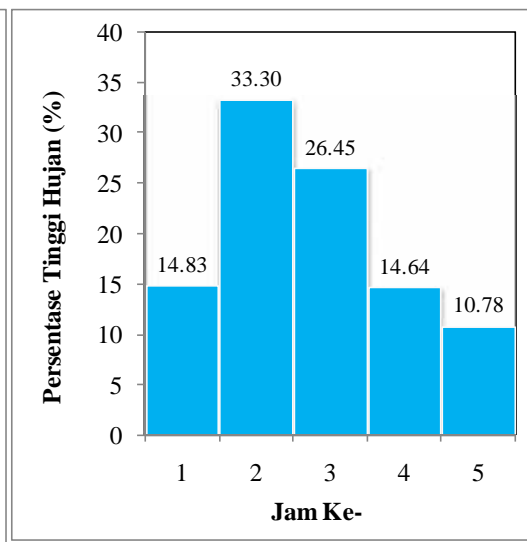
a) 2 jam



b) 3 jam



c) 4 jam



d) 5 jam

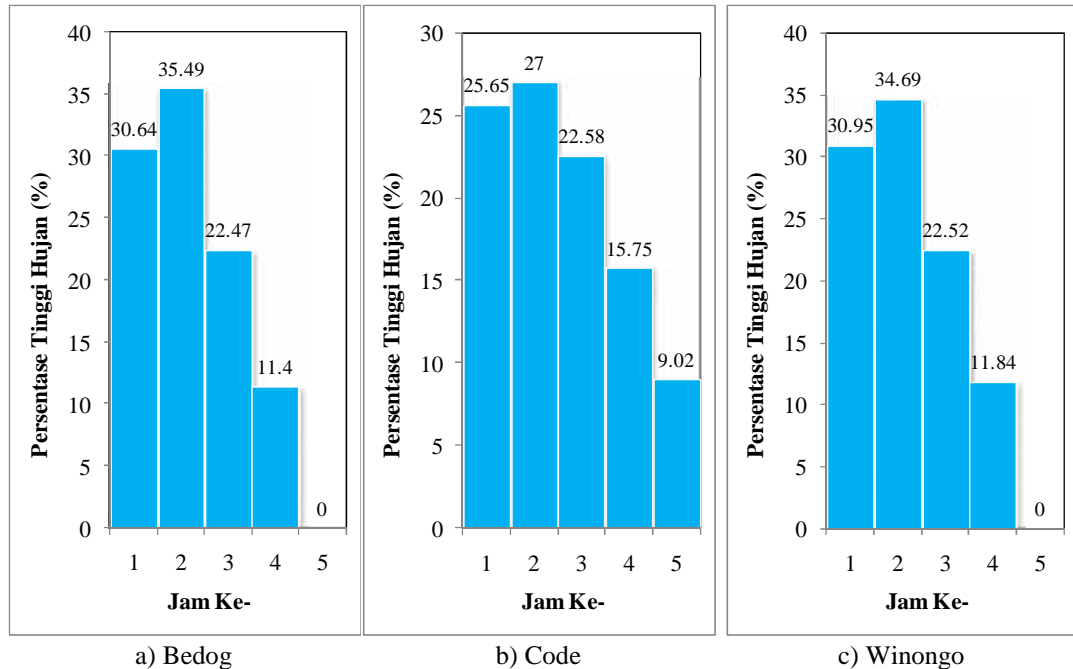
Gambar 4.23 Pola distribusi hujan rata-rata berdasarkan persentase tinggi hujan

Pola distribusi hujan ini agak mirip dengan hasil beberapa penelitian di Pulau Jawa seperti Sukoso (2004, dalam Sudjono, 2007) mencoba mencari pola distribusi hujan untuk wilayah sekitar Gunung Merapi Yogyakarta seperti DAS Bedog, Code, dan Winongo. Hasil analisis distribusi hujan berdasarkan setasiun hujan otomatis yang mirip untuk DAS tersebut, umumnya hujan di atas 50 mm terjadi selama 4 sampai 5 jam, dengan persentase tertinggi hujan terjadi pada jam ke-2 seperti pada Tabel 4.28 dan Gambar 4.24 poin a-c.

Tabel 4.28 Distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di sekitar Gunung Merapi Yogyakarta

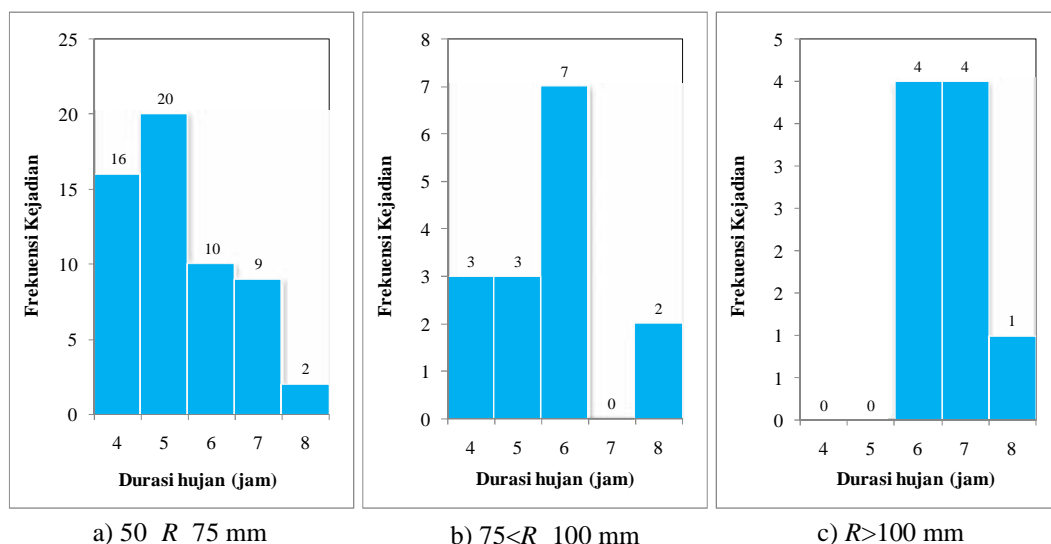
No.	DAS	Persentase Tinggi Hujan (%) Jam Ke-				
		1	2	3	4	5
1	Bedog	30.64	35.49	22.47	11.40	0.00
2	Code	25.65	27.00	22.58	15.75	9.02
3	Winongo	30.95	34.69	22.52	11.84	0.00

Sumber : Sujono, 2007



Gambar 4.24 Distribusi hujan DAS Bedog, Code dan Winongo di sekitar Gunung Merapi Yogyakarta (Sujono, 2007)

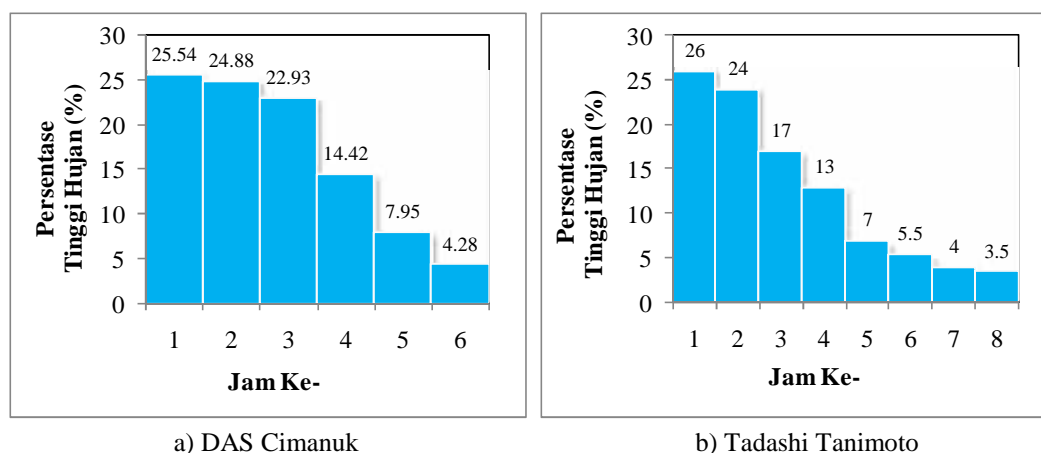
Penelitian serupa juga dilakukan oleh Prayoga (2004, dalam Triatmodjo, 2008). yang meneliti pola distribusi hujan di DAS Cimanuk Jawa Barat pada tiga (3) stasiun hujan yaitu Bantar Merak, Sukatali dan Dam Kamun. Pola distribusi hujan didasarkan pada hujan total yang mempunyai kedalaman di atas 50 mm sebanyak 81 buah data dengan durasi 4 sampai 8 jam, dimana frekuensi hujan terbesar terjadi pada durasi 5 jam dengan frekuensi 20 kejadian pada tinggi hujan 50 R 75 mm. Pada tinggi hujan $R > 75$ mm, hujan lebih sering terjadi dengan durasi 6 jam sebanyak 11 frekuensi kejadian, dimana durasi 6 jam ini juga memiliki frekuensi kejadian hujan terbanyak (31 frekuensi kejadian) untuk seluruh tinggi hujan sehingga durasi 6 jam ini ditetapkan sebagai durasi yang mewakili kondisi hujan yang sering terjadi di lokasi penelitian. Frekuensi kejadian hujan hasil penelitian tersebut disajikan pada Gambar 4.25 poin a-c berikut ini.



Gambar 4.25 Frekuensi kejadian hujan untuk beberapa durasi hujan (Triatmodjo, 2008)

Selanjutnya berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap 81 data kejadian hujan tersebut, dapat ditetapkan pola distribusi hujan rata-rata yang mewakili daerah penelitian seperti pada Gambar 4.26a, dimana distribusi hujan tertinggi terjadi pada permulaan hujan (jam pertama sampai jam kedua). Pola distribusi hujan ini memiliki kemiripan dengan Distribusi Tadashi Tanimoto (Gambar 4.26b) yang menempatkan distribusi hujan tertinggi terjadi pada jam pertama. Berdasarkan analisis kedua hasil pengamatan dan observasi tersebut, secara umum tampak bahwa pola distribusi hujan di daerah penelitian memiliki kemiripan

dengan hasil penelitian di Pulau Jawa, walaupun secara umum hujan total yang diamati dan terjadi di daerah penelitian lebih dominan terjadi pada tinggi hujan $R < 50$ mm.



Gambar 4.26 Pola distribusi hujan rata-rata di Pulau Jawa (Triatmodjo, 2008)

Penelitian mengenai pola distribusi hujan lainnya dilakukan oleh Kusumastuti et al, (2016) di DAS Way Awi Provinsi Lampung, menggunakan data hujan jam-jaman Stasiun Meteorologi dan Geofosika Bandar Lampung periode 2000–2014. Data hujan yang diamati adalah hujan yang memiliki durasi antara 3 sampai 8 jam dan tidak dijelaskan jumlah data hujan yang digunakan untuk analisis pola distribusi hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum pola distribusi hujan serupa (mirip) dengan pola distribusi ABM dan memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan pola distribusi hujan yang disimpulkan oleh Sukoso (2004, dalam Sudjono, 2007), dimana persentase hujan tertinggi terjadi pada jam ke-2. Secara umum Kusumastuti et al, (2016) menyimpulkan bahwa dari 6 buah durasi hujan yang diobservasi, 5 diantaranya memiliki hujan tertinggi pada jam ke-2 kecuali pada durasi 3 jam, hujan tertinggi terjadi pada jam pertama dan mengecil secara berangsur pada jam-jam berikutnya sampai pada akhir masing-masing durasi hujan (Tabel 4.29 dan Gambar 4.27 poin a-f).

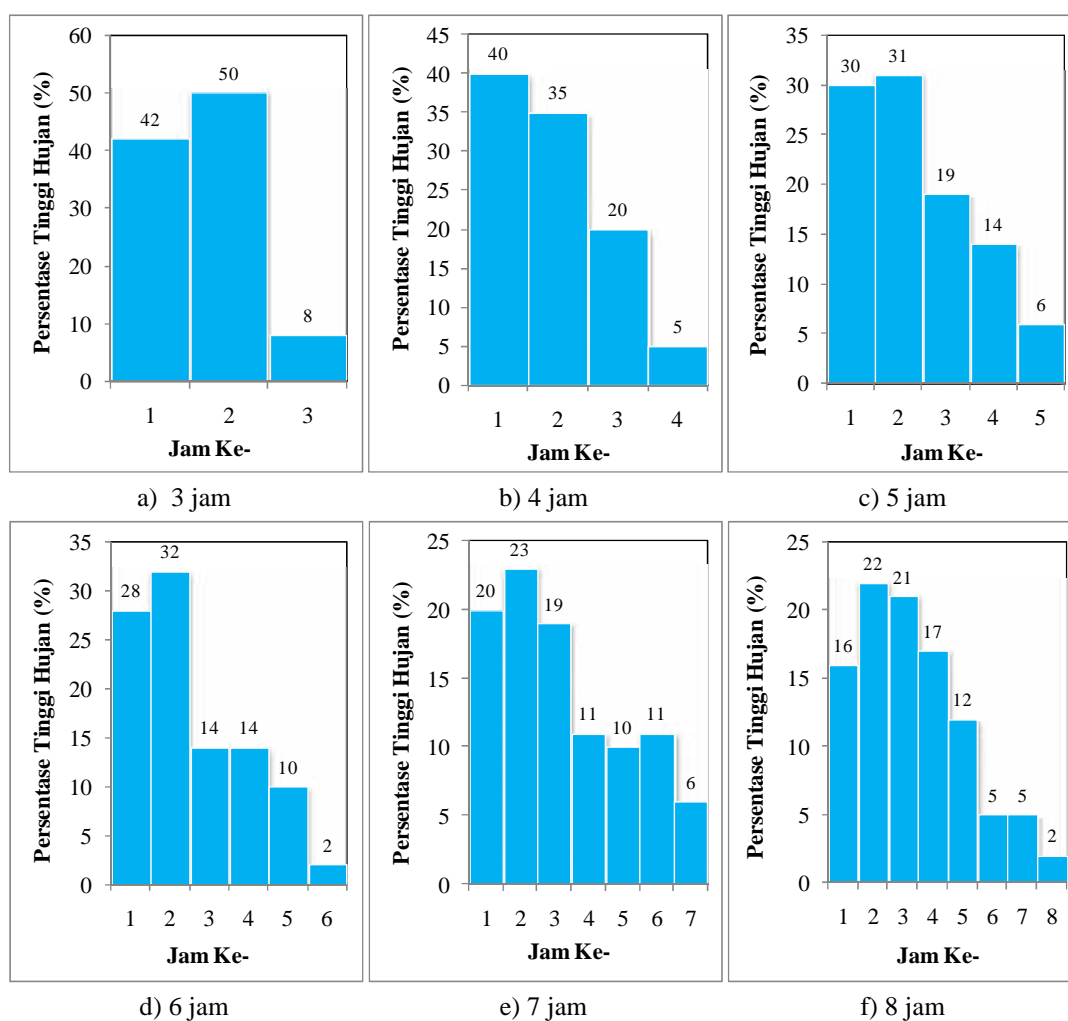
Kecenderungan pola hujan ini mencerminkan bahwa sesungguhnya pola distribusi hujan jam-jaman di daerah penelitian (Sulawesi Tengah) tidak jauh berbeda dengan tempat-tempat lain di Indonesia dalam hal ini Pulau Jawa dan Sumatera, walaupun secara umum jumlah hujan tahunan masing-masing wilayah

di Indonesia cenderung berbeda sesuai dengan faktor meteorologi, klimatologi dan letak geografis yang mempengaruhinya.

Tabel 4.29 Pola distribusi hujan DAS Way Awi di Bandar Lampung

No	Durasi (jam)	Persentase Tinggi Hujan (%) Jam Ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	42	50	8					
2	4	40	35	20	5				
3	5	30	31	19	14	6			
4	6	28	32	14	14	10	2		
5	7	20	23	19	11	10	11	6	
6	8	16	22	21	17	12	5	5	2

Sumber: Kusumastuti, 2016



Gambar 4.27 Pola distribusi hujan DAS Way Awi di Bandar Lampung (Kusumastuti, 2016)

4.4.4. Hidrograf Satuan Terukur

Hidrograf satuan terukur untuk masing-masing DAS diturunkan dari pasangan data hujan dan hidrograf banjir dengan memisahkan aliran dasar berdasarkan hujan efektif dengan memperhitungkan besarnya *phi index* (w). Pemisahan aliran dasar dilakukan menggunakan metode garis lurus dengan asumsi bahwa aliran dasar meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Teknik pemisahan aliran dasar dengan cara ini telah banyak digunakan oleh para peneliti hidrologi seperti Sri Harto (1985), Limantara (2009) dan peneliti-peneliti lainnya dengan berbagai argumen seperti kemudahan dalam mengidentifikasi berakhirnya aliran dasar pada sisi resesi hidrograf. Berikut disajikan contoh penurunan hidrograf satuan terukur untuk masing-masing DAS seperti pada Tabel 4.30–Tabel 4.37.

Tabel 4.30 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bahomoleo

12 Januari 2010						Luas DAS (A , km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	wI	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.75	0.75	2.10	3.52	0.00	0.00	0.00	0.00
1	13.60	1.02	2.90	3.52	0.00	12.58	45279.72	1.70
2	11.20	1.29	10.90	3.52	7.38	9.91	35659.44	1.34
3	9.50	1.57	2.80	3.52	0.00	7.93	28559.16	1.07
4	8.08	1.84				6.24	22466.88	0.85
5	6.65	2.11				4.54	16338.60	0.61
6	5.68	2.38				3.30	11866.32	0.45
7	5.19	2.66				2.53	9122.04	0.34
8	4.78	2.93				1.85	6665.76	0.25
9	3.28	3.20				0.08	285.48	0.01
10	3.47	3.47				0.00	0.00	0.00
Jumlah							176243.40	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.38
Index Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.52
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.38

Tabel 4.31 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Pinamula

27 Juni 2013						Luas DAS (A , km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Index Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.93	0.93	4.40	5.31	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.12	1.15	16.70	5.31	11.39	8.97	32283.58	0.79
2	20.08	1.37	5.30	5.31	0.00	18.71	67339.15	1.64
3	24.37	1.60	5.00	5.31	0.00	22.77	81988.90	2.00
4	23.41	1.82	2.20	5.31	0.00	21.59	77726.30	1.90
5	22.59	2.04				20.55	73973.88	1.80
6	18.63	2.26				16.37	58917.46	1.44
7	15.31	2.49				12.82	46165.03	1.13
8	13.28	2.71				10.57	38056.61	0.93
9	9.62	2.93				6.69	24080.18	0.59
10	8.47	3.15				5.32	19139.76	0.47
11	6.42	3.38				3.04	10959.34	0.27
12	5.75	3.60				2.15	7746.91	0.19
13	5.45	3.82				1.63	5866.49	0.14
14	5.44	4.04				1.40	5030.06	0.12
15	5.43	4.27				1.16	4193.64	0.10
16	5.42	4.49				0.93	3357.22	0.08
17	5.41	4.71				0.70	2520.79	0.06
18	5.40	4.93				0.47	1684.37	0.04
19	5.39	5.15				0.24	847.94	0.02
20	5.38	5.38				0.00	0.00	0.00
Jumlah							561877.61	
Kedalaman limpasan, d (mm) = VLL /Luas DAS								11.39
Indeks Phi (w) = $(R - 1d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.31
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.39

Tabel 4.32 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Toaya

26 Juni 2013						Luas DAS (A , km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.32	1.32	7.40	1.76	5.64	0.00	0.00	0.00
1	24.12	1.59	1.60	1.76	0.00	22.52	81085.18	4.00
2	20.12	1.85				18.27	65762.35	3.24
3	15.51	2.12				13.39	48207.53	2.37
4	14.19	2.39				11.80	42496.70	2.09
5	12.62	2.65				9.97	35885.88	1.77
6	11.33	2.92				8.41	30283.06	1.49
7	7.62	3.18				4.44	15968.23	0.79
8	7.15	3.45				3.70	13317.41	0.66
9	6.32	3.72				2.60	9370.58	0.46
10	6.12	3.98				2.14	7691.76	0.38
11	6.11	4.25				1.86	6696.94	0.33
12	6.02	4.52				1.50	5414.11	0.27
13	5.83	4.78				1.05	3771.29	0.19
14	5.71	5.05				0.66	2380.46	0.12
15	5.62	5.32				0.30	1097.64	0.05
16	5.58	5.58				0.00	0.00	0.00
Jumlah							369429.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = VLL /Luas DAS								5.64
Indeks Phi (w) = $(R - 1d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								1.76
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.64

Tabel 4.33 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bangga

28 Januari 2015						Luas DAS (A , km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.78	1.78	11.40	3.98	7.42	0.00	0.00	0.00
1	19.02	2.05	3.70	3.98	0.00	16.98	61116.59	2.29
2	28.31	2.31				25.99	93577.18	3.50
3	27.01	2.58				24.43	87951.53	3.29
4	22.57	2.85				19.73	71018.35	2.66
5	18.68	3.11				15.57	56048.94	2.10
6	12.62	3.38				9.24	33271.06	1.25
7	12.11	3.64				8.47	30476.23	1.14
8	9.22	3.91				5.30	19096.70	0.71
9	8.13	4.18				3.95	14230.58	0.53
10	7.32	4.44				2.88	10355.76	0.39
11	7.21	4.71				2.50	9000.94	0.34
12	6.92	4.98				1.94	6998.11	0.26
13	6.82	5.24				1.58	5679.29	0.21
14	6.71	5.51				1.20	4324.46	0.16
15	6.60	5.78				0.82	2969.64	0.11
16	6.04	6.04				0.00	0.00	0.00
Jumlah							505745.24	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.42
Indeks Phi (w) = $(R - 1d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.98
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.42

Tabel 4.34 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Singkoyo

22 Juli 2015						Luas DAS (A , km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	2.85	2.85	9.80	4.04	5.76	0.00	0.00	0.00
1	15.07	3.14	1.80	4.04	0.00	11.93	42956.46	2.07
2	23.42	3.43				19.99	71980.92	3.47
3	26.75	3.71				23.04	82933.38	4.00
4	25.01	4.00				21.01	75633.84	3.65
5	21.37	4.29				17.08	61494.30	2.97
6	19.25	4.58				14.67	52826.76	2.55
7	17.56	4.86				12.70	45707.22	2.20
8	15.52	5.15				10.37	37327.68	1.80
9	13.28	5.44				7.84	28228.14	1.36
10	11.58	5.73				5.85	21072.60	1.02
11	11.47	6.01				5.46	19641.06	0.95
12	11.40	6.30				5.10	18353.52	0.89
13	11.33	6.59				4.74	17065.98	0.82
14	11.21	6.88				4.33	15598.44	0.75
15	11.13	7.16				3.97	14274.90	0.69
16	11.02	7.45				3.57	12843.36	0.62
17	10.49	7.74				2.75	9899.82	0.48
18	10.42	8.03				2.39	8612.28	0.42
19	10.47	8.32				2.15	7756.74	0.37
20	10.46	8.60				1.86	6685.20	0.32
21	10.45	8.89				1.56	5613.66	0.27
22	10.44	9.18				1.26	4542.12	0.22
23	10.43	9.47				0.96	3470.58	0.17
24	10.42	9.75				0.67	2399.04	0.12
25	10.41	10.04				0.37	1327.50	0.06
26	10.33	10.33				0.00	0.00	0.00
Jumlah							668245.50	
Kedalaman limpasan, d (mm) = VLL /Luas DAS								5.76
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								4.04
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.76

Tabel 4.35 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Tambun

18 Pebruari 2009						Luas DAS (A , km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	3.00	3.00	5.70	6.90	0.00	0.00	0.00	0.00
1	18.72	3.25	13.20	6.90	6.30	15.47	55679.69	2.46
2	34.96	3.51	6.70	6.90	0.00	31.46	113243.59	5.00
3	31.11	3.76	0.60	6.90	0.00	27.35	98459.06	4.34
4	28.48	4.01				24.47	88078.75	3.89
5	23.37	4.27				19.10	68770.44	3.03
6	22.41	4.52				17.89	64402.13	2.84
7	18.39	4.77				13.62	49017.82	2.16
8	15.61	5.03				10.58	38097.50	1.68
9	13.85	5.28				8.57	30849.88	1.36
10	12.31	5.53				6.78	24393.28	1.08
11	10.57	5.79				4.78	17222.27	0.76
12	10.22	6.04				4.18	15044.26	0.66
13	10.11	6.29				3.82	13735.94	0.61
14	10.02	6.55				3.47	12499.63	0.55
15	9.91	6.80				3.11	11191.32	0.49
16	9.79	7.05				2.74	9847.01	0.43
17	9.73	7.31				2.42	8718.70	0.38
18	9.58	7.56				2.02	7266.38	0.32
19	9.47	7.81				1.66	5958.07	0.26
20	9.41	8.07				1.34	4829.76	0.21
21	9.33	8.32				1.01	3629.45	0.16
22	9.22	8.58				0.64	2321.14	0.10
23	9.10	8.83				0.27	976.82	0.04
24	9.08	9.08				0.00	7.49	0.00
Jumlah							744240.38	
Kedalaman limpasan, d (mm) = VLL /Luas DAS								6.30
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.90
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.30

Tabel 4.36 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Malino

18 Pebruari 2015						Luas DAS (A , km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.41	3.41	16.00	9.28	6.72	0.00	0.00	0.00
1	25.01	3.63	3.60	9.28	0.00	21.38	76967.82	3.18
2	38.11	3.85	3.60	9.28	0.00	34.26	123335.64	5.10
3	37.62	4.07	6.20	9.28	0.00	33.55	120779.46	4.99
4	35.11	4.29				30.82	110951.28	4.59
5	25.79	4.51				21.28	76607.10	3.17
6	15.83	4.73				11.10	39958.92	1.65
7	14.52	4.95				9.57	34450.74	1.42
8	13.37	5.17				8.20	29518.56	1.22
9	13.32	5.39				7.93	28546.38	1.18
10	13.18	5.61				7.57	27250.20	1.13
11	13.01	5.83				7.18	25846.02	1.07
12	12.82	6.05				6.77	24369.84	1.01
13	12.58	6.27				6.31	22713.66	0.94
14	12.41	6.49				5.92	21309.48	0.88
15	12.18	6.71				5.47	19689.30	0.81
16	12.04	6.93				5.11	18393.12	0.76
17	11.83	7.15				4.68	16844.94	0.70
18	11.61	7.37				4.24	15260.76	0.63
19	11.38	7.59				3.79	13640.58	0.56
20	11.03	7.81				3.22	11588.40	0.48
21	10.02	8.03				1.99	7160.22	0.30
22	8.25	8.25				0.00	0.00	0.00
Jumlah							865182.42	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.72
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.28
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.72

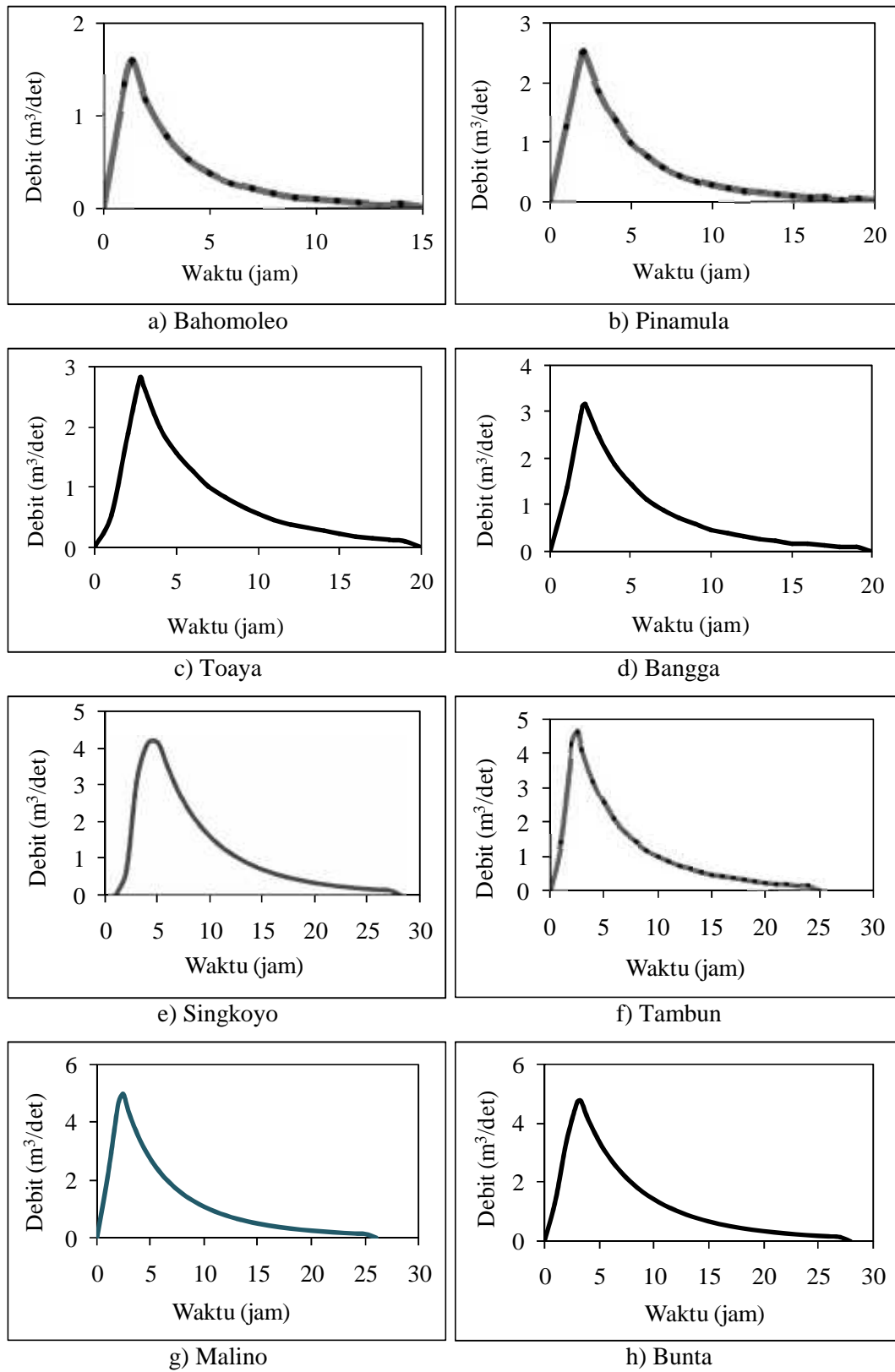
Tabel 4.37 Penurunan hidrograf satuan terukur DAS Bunta

30 Januari 2015						Luas DAS (A , km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
t	Q	Q_b	R	w	R_{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	3.50	3.50	12.40	6.40	6.00	0.00	0.00	0.00
1	20.24	3.74	5.70	6.40	0.00	16.50	59384.70	2.75
2	32.41	3.99				28.42	102317.40	4.74
3	35.41	4.23				31.18	112238.10	5.20
4	30.39	4.48				25.91	93286.80	4.32
5	25.17	4.72				20.45	73615.50	3.41
6	23.32	4.97				18.35	66076.20	3.06
7	21.23	5.21				16.02	57672.90	2.67
8	20.38	5.45				14.93	53733.60	2.49
9	18.04	5.70				12.34	44430.30	2.06
10	15.92	5.94				9.98	35919.00	1.66
11	14.49	6.19				8.30	29891.70	1.38
12	14.00	6.43				7.57	27248.40	1.26
13	13.06	6.68				6.38	22985.10	1.06
14	12.16	6.92				5.24	18865.80	0.87
15	11.50	7.16				4.34	15610.50	0.72
16	10.83	7.41				3.42	12319.20	0.57
17	10.16	7.65				2.51	9027.90	0.42
18	10.00	7.90				2.10	7572.60	0.35
19	9.98	8.14				1.84	6621.30	0.31
20	9.93	8.39				1.55	5562.00	0.26
21	9.93	8.63				1.30	4682.70	0.22
22	9.90	8.87				1.03	3695.40	0.17
23	9.89	9.12				0.77	2780.10	0.13
24	9.88	9.36				0.52	1864.80	0.09
25	9.87	9.61				0.26	949.50	0.04
26	9.85	9.85				0.00	0.00	0.00
Jumlah							868351.50	
Kedalaman limpasan, d (mm) = VLL /Luas DAS								6.00
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.40
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.00

Mengingat bahwa hasil analisis hanya menghasilkan tiga (3) parameter hidrograf satuan rata-rata yakni Q_p , T_p dan T_b , maka untuk mendapatkan kurva hidrograf dari ketiga parameter itu dapat dilakukan dengan beberapa pilihan seperti Metode Rasio Dimensi Hidrograf Satuan, Metode ITB-1 dan ITB-2 yang mirip dengan Metode Delay-Storage sebagaimana dimodifikasi oleh Lasidi, dkk (2003) untuk analisis hidrograf di Jawa Timur dan GAMA-1. Namun mengingat bahwa volume limpasan langsung dibagi dengan luas DAS harus sama dengan 1 satuan, maka cara termudah yang dapat digunakan untuk membuat kurva adalah gabungan antara Cara ITB-1 dan Cara ITB-2. Cara ITB-1 dibuat untuk membentuk sisi naik dan Cara ITB-2 untuk membentuk sisi turun (resesi) dengan menyesuaikan koefisien untuk mendapatkan tinggi limpasan langsung sama dengan 1 satuan. Jika hanya menggunakan cara ITB-1 untuk membentuk hidrograf pada kedua sisi maka sulit mengontrol volume hidrograf karena hanya menyesuaikan 1 buah koefisien. Kurva hidrograf satuan rata-rata untuk 8 DAS ditampilkan pada Gambar 4.28 poin a-h. Parameter hidrograf satuan rata-rata berdasarkan 75 pasangan data hujan dan hidrograf banjir untuk masing-masing DAS yang diobservasi diperlihatkan pada Tabel 4.38, dimana waktu puncak hidrograf (*peak time*) berkisar 1.35 - 3.32 jam, debit puncak hidrograf (*peak flow*) berkisar antara 1.58 - 4.98 m³/det dan waktu dasar hidrograf (*base time*) berkisar antara 12 - 28 jam (Tunas et al, 2017a).

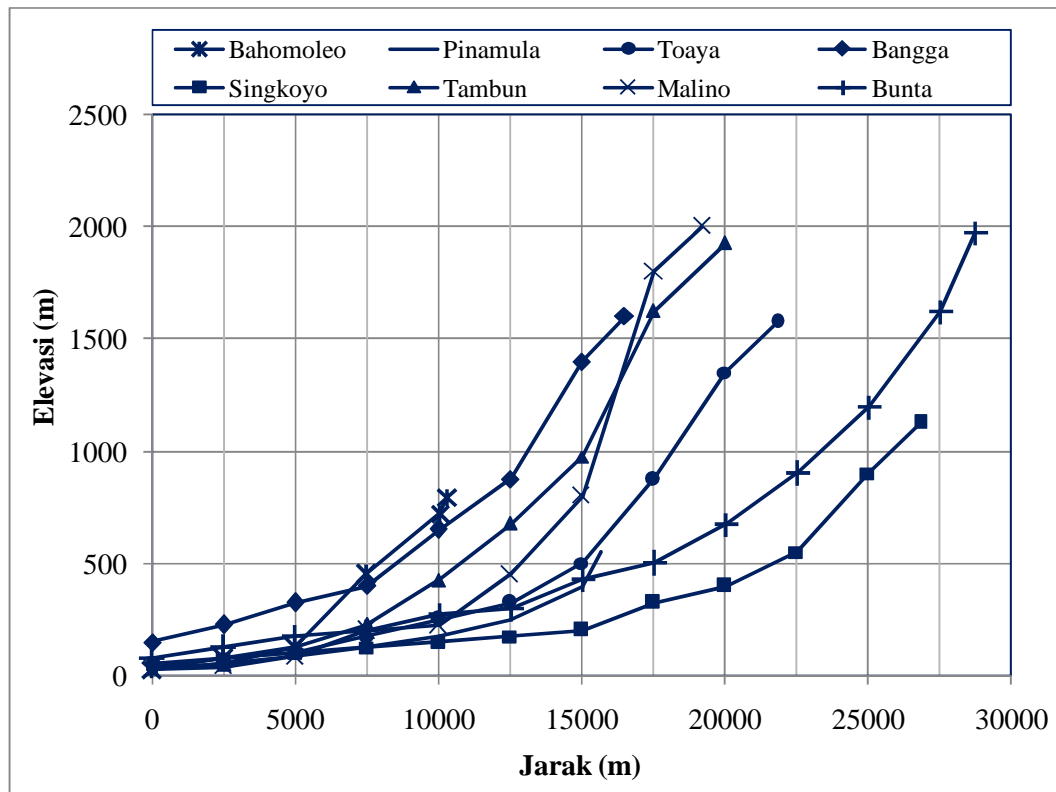
Tabel 4.38 Parameter hidrograf satuan rata-rata 8 DAS

No.	Nama DAS	Parameter Hidrograf Satuan Rerata		
		T_p (jam)	Q_p (m ³ /s)	T_b (jam)
1	Bahomoleo	1.35	1.58	12.00
2	Pinamula	2.10	2.49	16.00
3	Toaya	2.68	2.79	18.00
4	Bangga	2.18	3.17	16.00
5	Singkoyo	3.15	4.09	26.00
6	Tambun	2.51	4.59	24.00
7	Malino	2.44	4.98	24.00
8	Bunta	3.32	4.77	28.00



Gambar 4.28 Hidrograf satuan terukur rata-rata

Berdasarkan analisis hidrograf satuan rata-rata yang dilakukan pada delapan (8) DAS sebagaimana dituangkan pada Tabel 4.38 dan Gambar 4.28, terlihat bahwa waktu puncak hidrograf satuan rata-rata relatif singkat dengan kelandaian sisi naik yang besar. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan karakteristik DAS di daerah penelitian mempunyai kemiringan sungai utama relatif terjal (berkisar antara 0.03422–0.108120) dengan panjang sungai utama relatif pendek (berkisar antara 10.31–28.69 km) seperti terlihat pada Gambar 4.29, kemiringan topografi yang relatif curam dan sifat hujan yang dengan intensitas yang cenderung tinggi pada jam pertama sampai kedua serta karakteristik tanah permukaan. Gambaran kemiringan topografi (kemiringan lereng) daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.29 Profil memanjang sungai utama 8 DAS

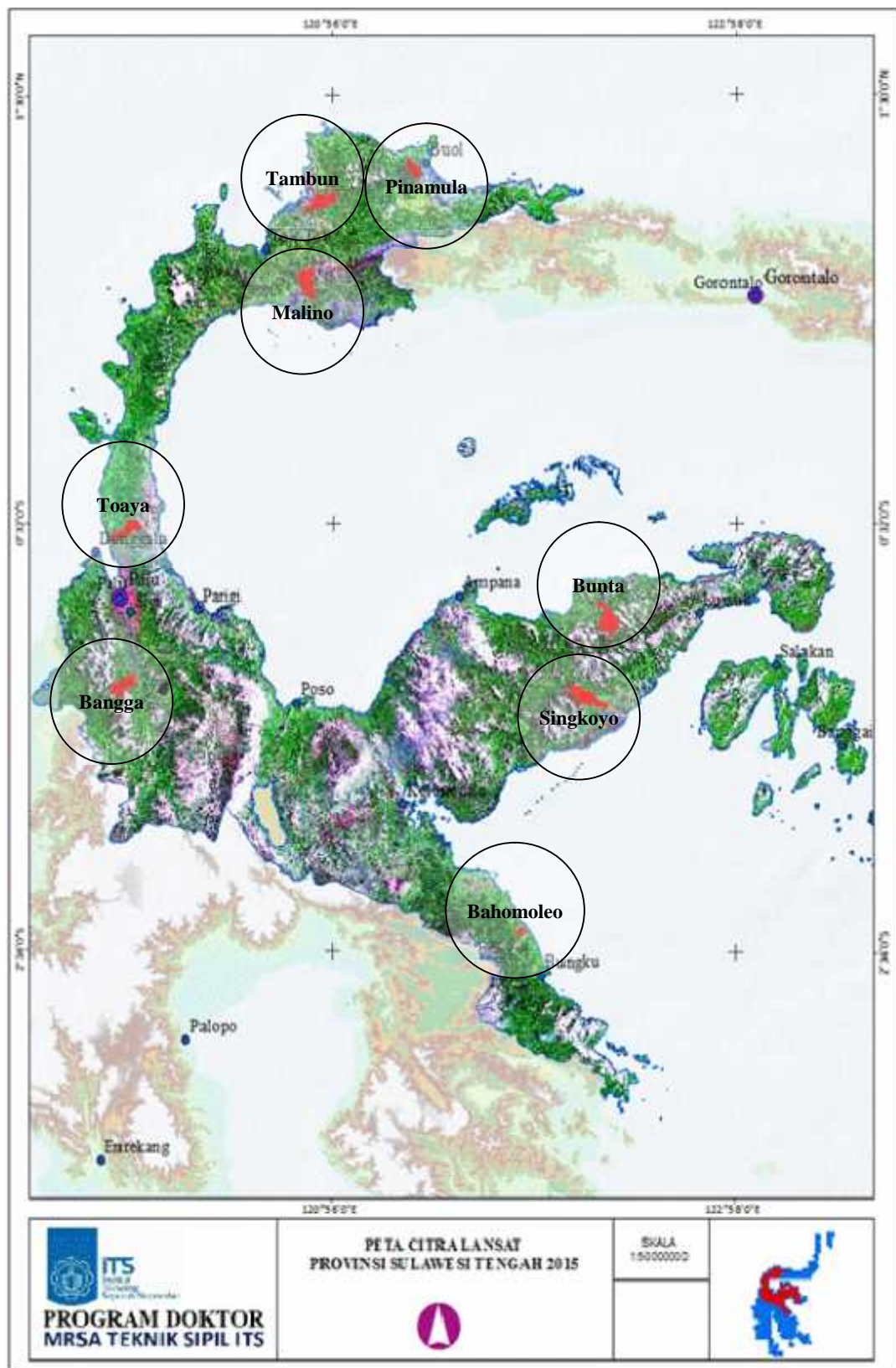
Bila diamati pada peta jenis tanah di Provinsi Sulawesi Tengah (Gambar 4.31), secara umum karakteristik tanah merupakan gabungan dari berbagai jenis tanah. Beberapa jenis tanah yang mendominasi adalah jenis tanah Hapludults dan Hapludox, yang merupakan bagian terbesar dari jenis tanah Podsolik dan Latosol.

Tanah Podsolik merupakan nama lain dari Ultosol, umumnya berwarna kuning kecoklatan dan kemerahan, dicirikan oleh adanya akumulasi liat pada horizon bawah permukaan sehingga mengurangi daya resap air dan meningkatkan aliran permukaan dan erosi tanah (Suripin, 2001). Tanah Latosol dibentuk dari bahan batuan yang bersifat netral dan peka terhadap erosi bila tanpa vegetasi. Kedua karakteristik tanah ini diperkirakan dapat mempengaruhi sisi naik hidrograf dengan waktu puncak relatif singkat.

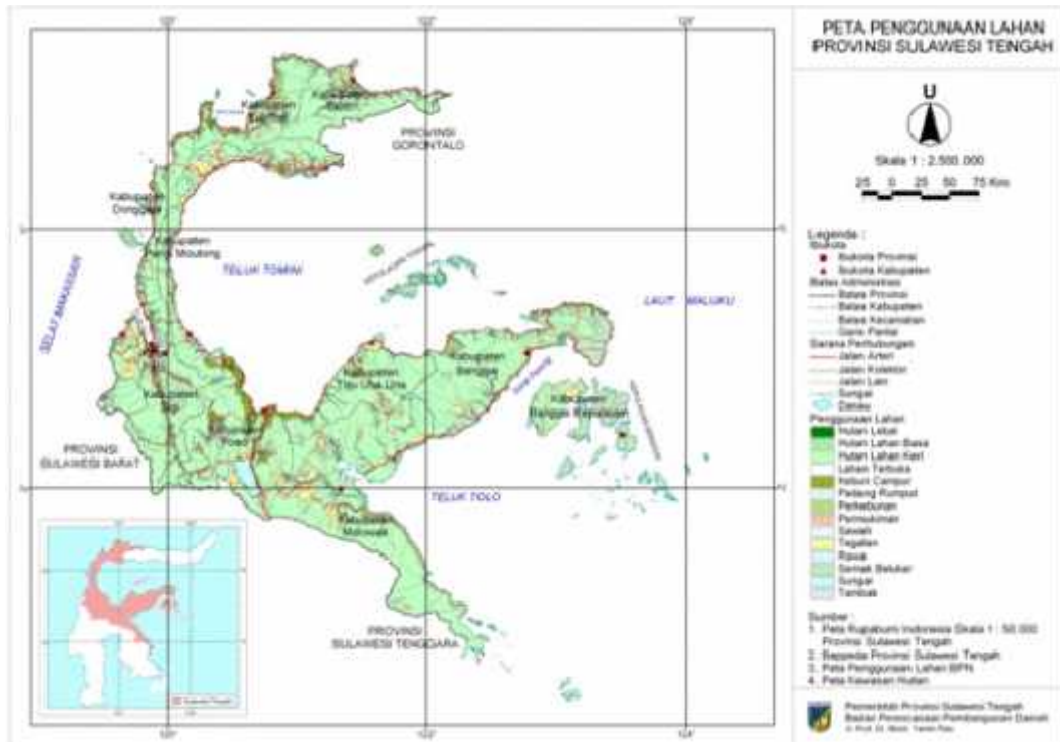
Pada sisi resesi, penurunan kurva hidrograf relatif lambat dengan waktu resesi mencapai lebih dari 10 jam. Beberapa ahli berpendapat (Sri Harto, 1985 dan Asdak, 2007), sisi resesi hidrograf yang panjang berkaitan dengan sifat tampungan DAS yang bersangkutan. Bila sifat tampungan DAS dalam kondisi baik maka pengatusan (*drainage*) aliran akan terjadi secara berangsur-angsur (*gradually*) dan bila sifat tampungan DAS dalam kondisi buruk maka sisi resesi akan menjadi sangat pendek dan curam sehingga pengatusan aliran akan terjadi secara tiba-tiba (*suddenly*). Sifat tampungan DAS umumnya sangat berkaitan dengan karakteristik hidrogeologi dan faktor penutup lahan (Asdak, 2007 dan Irianto, 2003).

Selain itu bila diamati pada peta tutupan lahan berdasarkan Citra Landsat publikasi Tahun 2015 (Gambar 4.32 dan Gambar 4.33), terlihat bahwa secara umum kondisi penutup lahan di daerah penelitian merupakan kawasan hutan dengan tingkat kerapatan tajuk yang masih baik terutama pada kawasan DAS bagian hulu. Hal ini diperkirakan memberi pengaruh terhadap sifat pengatusan aliran pada sisi resesi.

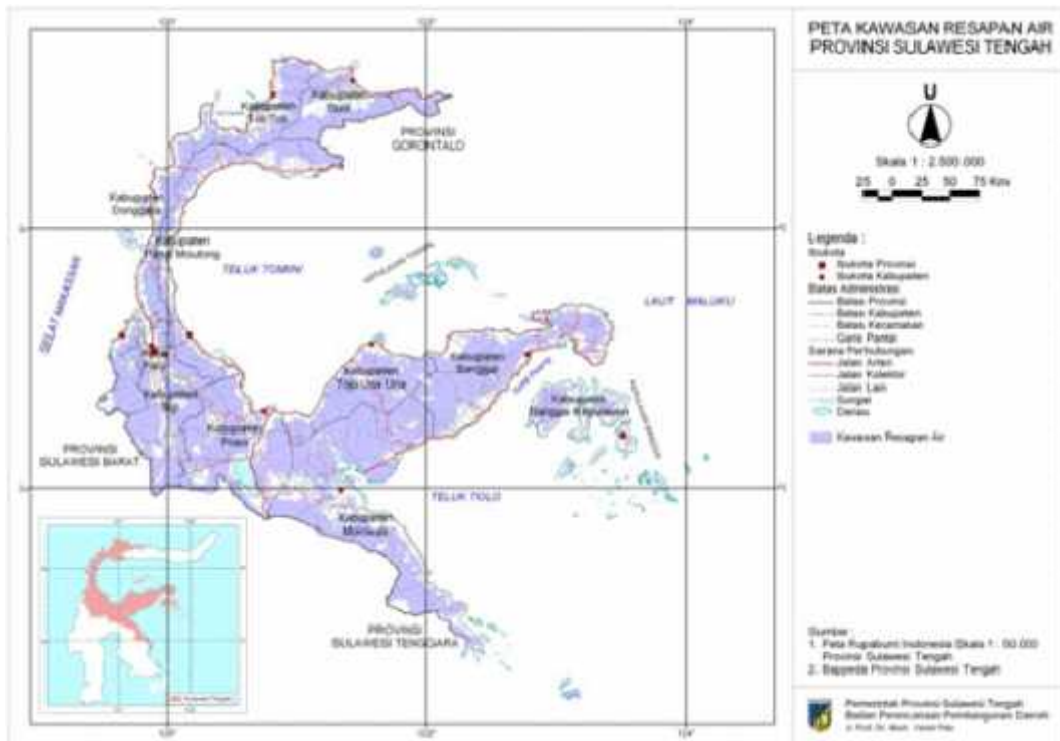
Hal lain yang berkaitan dengan sifat tampungan DAS adalah karakteristik kondisi kawasan resapan air. Kawasan resapan air merupakan faktor hidrogeologi yang dapat mempengaruhi kapasitas penyimpanan aliran di dalam tanah sehingga akan sangat berpengaruh terhadap laju pengatusan aliran (Sasrodarsono, 1993). Provinsi Sulawesi Tengah memiliki kawasan resapan air yang tersebar merata hampir di seluruh wilayah (Gambar 4.34). Adanya kawasan resapan air yang besar, mengindikasikan bahwa sebagian air akan berpeluang meresap kedalam tanah dan akan menjadi bagian pengatusan aliran pada sisi resesi hidrograf.



Gambar 4.32 Peta tutupan lahan Citra Landsat (Citra Google Earth, 2015)



Gambar 4.33 Peta penggunaan lahan Provinsi Sulawesi Tengah (BAPPEDA Provinsi Sulawesi Tengah, 2015)



Gambar 4.34 Peta kawasan resapan air Provinsi Sulawesi Tengah (BAPPEDA Provinsi Sulawesi Tengah, 2015)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

MODEL HIDROGRAF SATUAN SINTETIK



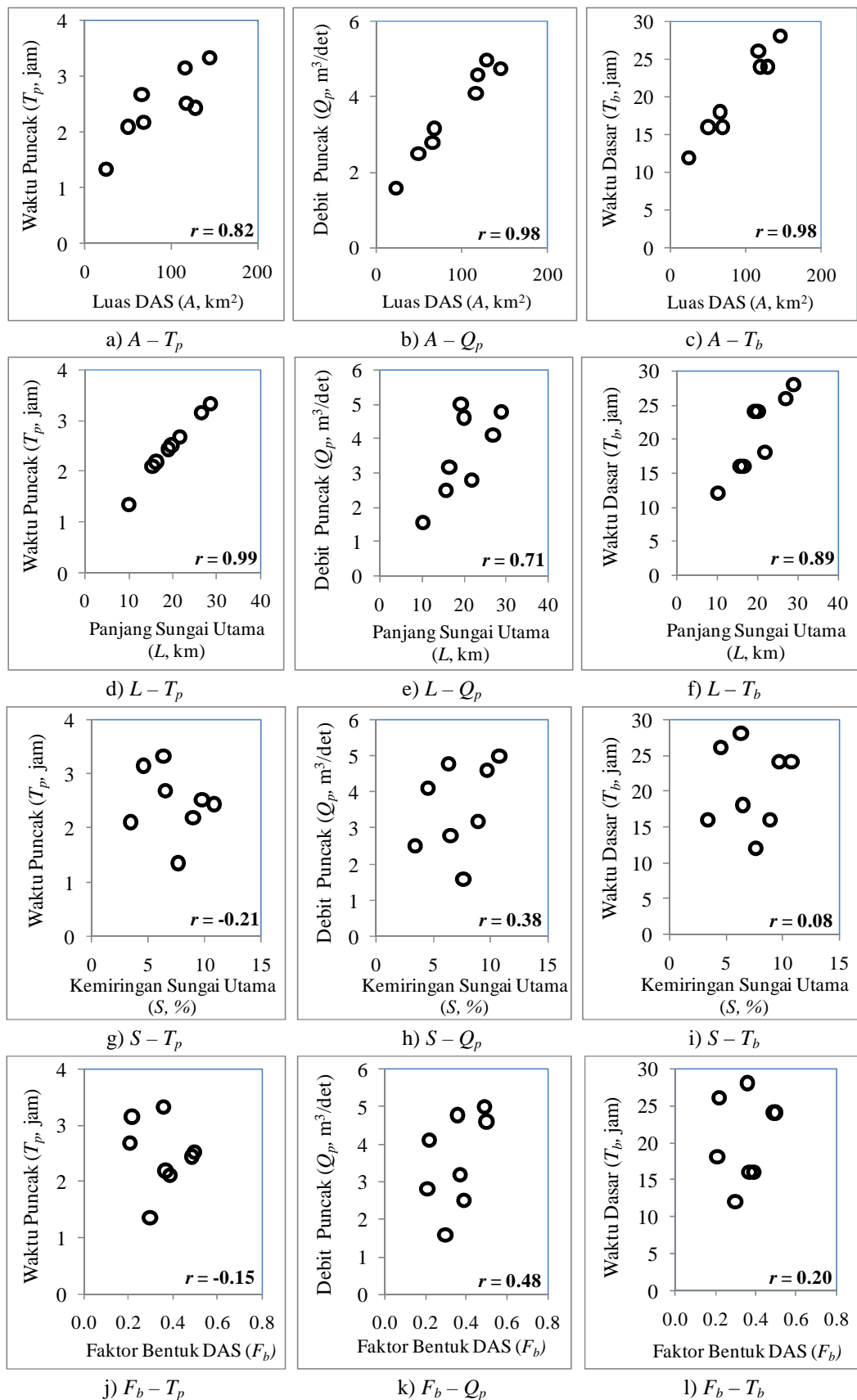
BAB 5

MODEL HIDROGRAF SATUAN SINTETIK

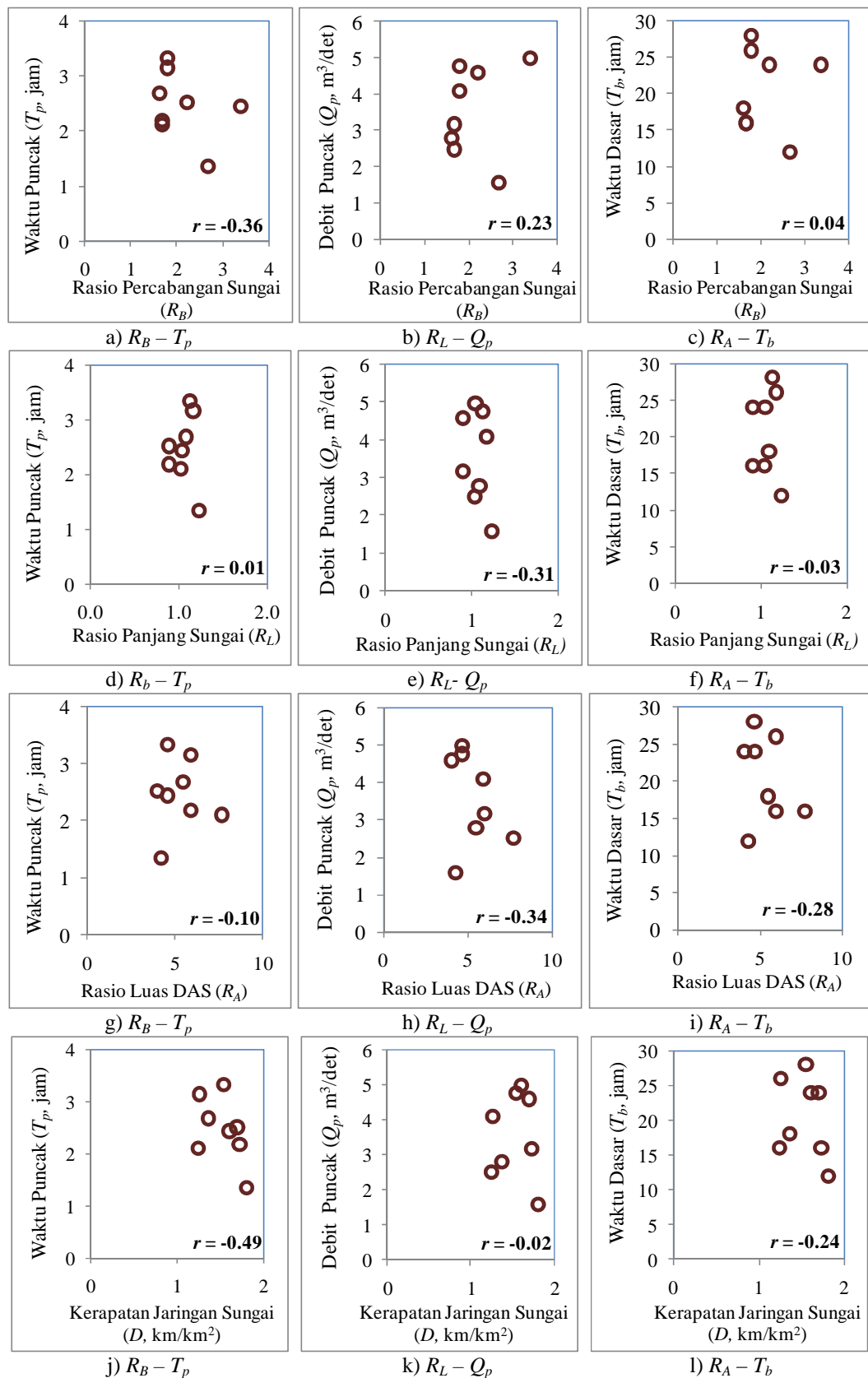
5.1 Hubungan Antara Variabel

Pada dasarnya hubungan antara variabel dalam hal ini variabel bebas (parameter morfometri dan fraktal) dan variabel tak bebas (parameter hidrograf) secara individu dapat dianalisis jika terdapat beberapa DAS identik (memiliki parameter morfometri dan fraktal seragam atau serupa tetapi memiliki salah satu parameter yang berbeda untuk diuji), dan diobservasi respon parameter hidrografnya. Sebagai contoh, terdapat 10 DAS memiliki parameter DAS yang sama kecuali kemiringan sungai utama, maka akan dapat dianalisis antara variasi kemiringan sungai utama (S) terhadap perubahan parameter hidrograf (T_p , Q_p dan T_b), demikian seterusnya untuk parameter-parameter lainnya. Pemisalan (contoh) tersebut sangat tidak mungkin dapat terjadi mengingat parameter DAS adalah acak dan memiliki variabel yang beragam. Selain itu juga parameter DAS akan bekerja secara simultan dan bersama-sama dalam rangka mempengaruhi respon parameter hidrograf, sehingga sesungguhnya sangat sulit mengetahui hubungan antara variabel secara individu (Sri Harto, 1985).

Namun demikian analisis hubungan antara variabel tetap dilakukan dalam rangka melihat gejala kecenderungan hubungan antara variabel bebas dan variabel tak bebas secara individu. Berdasarkan gejala kecenderungan hubungan ini setidaknya dapat diperkirakan parameter DAS apa saja yang akan digunakan untuk memodelkan masing-masing parameter hidrograf, meskipun hubungan antara variabel tetap diuji secara simultan pada persamaan regresi. Berikut disajikan hubungan antara parameter DAS dengan parameter hidrograf dalam bentuk grafik dan korelasi (Gambar 5.1 - Gambar 5.2 poin a-i dan Tabel 5.1). Sebagaimana terlihat pada Gambar 5.1 - Gambar 5.2 dan Tabel 5.1, dapat dicermati bahwa hanya ada dua parameter DAS yang memiliki koefisien korelasi relatif bagus yakni luas DAS (A) dan panjang sungai utama (L) dengan ketiga parameter hidrograf. Parameter DAS lainnya memperlihatkan koefisien korelasi yang kurang kuat baik korelasi positif maupun negatif. Koefisien korelasi negatif mengindikasikan kedua variabel berbanding terbalik dan sebaliknya.



Gambar 5.1 Hubungan antara parameter morfometri dengan parameter hidrograf.



Gambar 5.2 Hubungan antara parameter fraktal dengan parameter hidrograf.

Tabel 5.1 Korelasi antara parameter morfometri dan fraktal dengan parameter hidrograf

No	Parameter DAS	Parameter Hidrograf		
		Waktu Puncak (T_p)	Debit Puncak (Q_p)	Waktu Dasar (T_b)
1	Luas DAS (A)	0.82	0.98	0.98
2	Panjang sungai utama (L)	0.99	0.71	0.89
3	Kemiringan sungai utama (S)	-0.21	0.38	0.08
4	Faktor bentuk DAS (F_b)	-0.15	0.48	0.20
5	Rasio percabangan sungai (R_B)	-0.36	0.23	0.04
6	Rasio panjang sungai (R_L)	0.00	-0.31	-0.03
7	Rasio luas DAS (R_A)	-0.10	-0.34	-0.28
8	Kerapatan jaringan Sungai (D)	-0.49	-0.02	-0.24

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian beberapa DAS di Pulau Jawa terutama hubungan antara karakteristik morfometri dengan parameter hidrograf, hasil penelitian ini memperlihatkan keserupaan dimana koefisien korelasi luas DAS (A) dan panjang sungai utama (L) relatif baik, sedangkan parameter lainnya kurang baik. Berdasarkan data 12 DAS seperti pada Tabel 5.2, Tabel 5.3 dan Tabel 5.4, diperoleh parameter morfometri, hidrograf satuan terukur dan angka korelasi antar parameter.

Tabel 5.2 Parameter morfometri 12 DAS di Pulau Jawa

No.	Naman DAS	Luas DAS, A (km^2)	Panjang Sungai Utama, L (km)	Kemiringan Sungai Utama, S	Kerapatan Jaringan Sungai, D (km/km^2)
1	Citandui di Cirahong	627.20	57.00	0.01970	1.61
2	Cisadane di Batu Belah	251.31	42.50	0.04700	2.02
3	Progo di Kranggan	411.67	36.50	0.04700	2.24
4	Sampean di Masambit	656.66	44.00	0.01620	1.11
5	Kalibaru di Karang Dara	351.08	48.00	0.01520	1.39

Lanjutan Tabel 5.2 Parameter morfometri 12 DAS di Pulau Jawa

No.	Naman DAS	Luas DAS, A (km ²)	Panjang Sungai Utama, L (km)	Kemiringan Sungai Utama, S	Kerapatan Jaringan Sungai, D (km/km ²)
6	Sanen di Sasen	286.05	44.00	0.00800	1.35
7	Bedadung di Rawatantu	751.00	61.00	0.00480	1.31
8	Cipopokol A	2.41	1.40	0.06950	3.37
9	Ciliwung Hulu di Katulampa	149.23	24.46	0.11120	2.94
10	Welang	148.22	28.00	0.01700	
11	Grindulu	592.80	49.50	0.01580	
12	Madiun	2102.58	83.50	0.00780	

Sumber : Bejo Slamet, 2006 (No. 1–7 dari Sri Harto,1990 dan Darmadi, 1990; No. 8–9 dari Fadli dan Bejo Slamet, 2006) dan Lasidi, 2002 (No. 10–12)

Tabel 5.3 Parameter hidrograf satuan terukur 12 DAS di Pulau Jawa

No.	Naman DAS	Waktu Puncak (T_p)	Debit Puncak (Q_p)	Waktu Dasar (T_b)
1	Citandui di Cirahong	9.00	30.00	17.54
2	Cisadane di Batu Belah	2.00	24.00	10.44
3	Progo di Kranggan	2.00	21.00	20.63
4	Sampean di Masambit	2.00	18.00	56.28
5	Kalibaru di Karang Dara	3.00	20.00	16.00
6	Sanen di Sasen	3.00	21.00	9.60
7	Bedadung di Rawatantu	2.00	21.00	35.33
8	Cipopokol A	0.50	4.00	0.24
9	Ciliwung Hulu di Katulampa	2.00	36.00	6.01
10	Welang	1.31	8.75	24.23
11	Grindulu	2.50	28.22	32.5
12	Madiun	3.77	52.64	34.54

Sumber : Bejo Slamet, 2006 (No. 1–7 dari Sri Harto,1990 dan Darmadi, 1990; No. 8–9 dari Fadli dan Bejo Slamet, 2006) dan Lasidi, 2002 (No. 10–12)

Tabel 5.4 Korelasi antara parameter morfometri dengan parameter hidrograf dari 12 DAS di Pulau Jawa.

No.	Parameter DAS	Parameter Hidrograf		
		Waktu Puncak (T_p)	Debit Puncak (Q_p)	Waktu Dasar (T_b)
1	Luas DAS (A)	0.38	0.78	0.59
2	Panjang sungai utama (L)	0.58	0.78	0.63
3	Kemiringan sungai utama (S)	-0.36	-0.16	-0.64
4	Faktor bentuk DAS (FB)	-0.46	-0.48	-0.71

Walaupun secara umum menunjukkan gejala hubungan yang lemah pada analisis korelasi, Sri Harto (1985) tetap menggunakan parameter tersebut pada Model HSS GAMA I dan meyakini secara fisik parameter-parameter tersebut berpengaruh terhadap parameter hidrograf. Rendahnya angka korelasi ini tidaklah mencerminkan bahwa parameter-parameter tersebut tidak berpengaruh terhadap parameter hidrograf. Sebagai contoh pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.4, kemiringan sungai utama (S) memiliki angka korelasi yang rendah, tetapi sesungguhnya dengan analogi sederhana hubungan fisik ini sangat mudah dipahami bahwa semakin tinggi kemiringan sungai, maka kecepatan aliran akan semakin tinggi dan berimplikasi pada pencapaian waktu puncak dan debit puncak yang lebih singkat (Sri Harto, 1985 dan Kouli et al., 2007). Oleh karena itu dipahami bahwa proses pembentukan hidrograf sangat dipengaruhi oleh beragam faktor seperti telah disebutkan sebelumnya dan semua parameter tersebut bekerja bersama-sama secara simultan dalam membentuk hidrograf.

Sebagaimana telah disampaikan oleh beberapa peneliti dan ahli hidrologi (Chow, 1964 dan Sri Harto, 1985), bahwa dari berbagai karakteristik morfometri, sedikitnya ada 4 parameter utama yang berpengaruh secara dominan terhadap parameter hidrograf yakni luas DAS (A), panjang sungai utama (L), kemiringan sungai utama (S), dan faktor bentuk DAS (F_b). Dua parameter yang pertama yakni luas DAS dan panjang sungai utama, digunakan pada semua model HSS seperti HSS Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003), HSS Nakayasu (1945, dalam Soemarto, 1985), HSS GAMA I (Sri Harto, 1985), HSS ITS-1 (Lasidi dkk., 2003), HSS Limantara (Montarcih, 2009), HSS ITB (Natakusumah, 2011) dan

HSS lainnya. Dua parameter terakhir yaitu kemiringan sungai utama dan faktor bentuk DAS digunakan secara kombinasi pada berbagai model HSS. Hal ini mengindikasikan bahwa keempat parameter tersebut diyakini sebagai parameter utama dari karakteristik morfometri DAS yang dominan berpengaruh terhadap hidrograf.

Bila dicermati pada karakteristik fraktal DAS, keempat parameter yang dievaluasi meliputi rasio percabangan sungai (R_B), rasio panjang sungai (R_L), rasio luas DAS (R_A) dan kerapatan jaringan sungai (D) juga menunjukkan kecenderungan yang hampir sama dengan angka korelasi 2 parameter terakhir dari karakteristik utama morfometri DAS yakni kemiringan sungai utama dan faktor bentuk DAS. Berdasarkan angka korelasi tersebut, hubungan antara parameter fraktal dan parameter utama hidrograf tidak dapat disimpulkan secara jelas. Namun demikian fenomena ini sekali lagi harus dipahami secara komprehensif sebagaimana telah disampaikan sebelumnya. Contoh yang paling mudah dipahami dari parameter fraktal DAS adalah kerapatan jaringan sungai (D), dimana semakin tinggi kerapatan jaringan sungai akan semakin cepat proses pengatusan limpasan permukaan ke sungai utama (Snyder 1938, dalam Jain et al., 2003 dan Sri Harto, 1985), dengan demikian waktu puncak dan debit puncak akan semakin cepat tercapai, demikian sebaliknya.

Walaupun angka korelasi menunjukkan gejala hubungan yang lemah baik pada parameter morfometri maupun parameter fraktal DAS terhadap parameter utama hidrograf, 8 parameter tersebut akan tetap digunakan sebagai variabel bebas (*predictor*) dan akan dipilih berdasarkan koefisien korelasi dan determinasi terbaik pada persamaan regresi pada proses penyusunan model HSS.

5.2 Penyusunan Model Hidrograf Satuan Sintetik

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya bahwa 8 parameter meliputi 4 parameter morfometri dan 4 parameter fraktal, semuanya akan digunakan dalam proses penyusunan model HSS, dalam hal ini digunakan sebagai variabel bebas dan akan dievaluasi pada setiap persamaan yang dibangun yang meliputi persamaan debit puncak, persamaan waktu puncak, persamaan waktu dasar dan persamaan kurva hidrograf. Delapan parameter DAS yang digunakan sebagai

variabel bebas dan 3 parameter hidrograf sebagai variabel tak bebas ditampilkan kembali pada Tabel 5.5, Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.5 Karakteristik morfometri 8 DAS sebagai variabel bebas

No.	Nama DAS	Luas DAS (A , km ²)	Panjang Sungai Utama (L , km)	Kemiringan Sungai Utama (S)	Faktor Bentuk DAS (F_b)
1	Bahomoleo	23.88	10.32	0.07639	0.30
2	Pinamula	49.35	15.64	0.03422	0.39
3	Toaya	65.51	21.82	0.06532	0.21
4	Bangga	68.19	16.48	0.08948	0.37
5	Singkoyo	116.05	26.81	0.04569	0.22
6	Tambun	118.19	19.99	0.09755	0.50
7	Malino	128.75	19.19	0.10812	0.49
8	Bunta	144.73	28.70	0.06359	0.36

Tabel 5.6 Karakteristik fraktal 8 DAS sebagai variabel bebas

No.	Nama DAS	Kerapatan Jaringan Sungai (D)	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	Rasio Panjang Sungai (R_L)	Rasio Luas DAS (R_A)
1	Bahomoleo	1.80	2.67	1.23	4.22
2	Pinamula	1.24	1.68	1.03	7.67
3	Toaya	1.36	1.62	1.09	5.46
4	Bangga	1.72	1.68	0.90	5.94
5	Singkoyo	1.25	1.79	1.17	5.91
6	Tambun	1.69	2.21	0.90	4.02
7	Malino	1.60	3.38	1.04	4.62
8	Bunta	1.54	1.79	1.16	4.61

Tabel 5.7 Parameter hidrograf satuan rata-rata 8 DAS sebagai variabel tak bebas

No.	Nama DAS	Parameter Hidrograf Satuan Rerata		
		T_p (jam)	Q_p (m ³ /s)	T_b (jam)
1	Bahomoleo	1.35	1.58	12
2	Pinamula	2.10	2.49	16
3	Toaya	2.68	2.79	18
4	Bangga	2.18	3.17	16
5	Singkoyo	3.15	4.09	26
6	Tambun	2.51	4.59	24

Lanjutan Tabel 5.7 Parameter hidrograf satuan rata-rata 8 DAS sebagai variabel tak bebas

No.	Nama DAS	Parameter Hidrograf Satuan Rerata		
		T_p (jam)	Q_p (m ³ /s)	T_b (jam)
7	Malino	2.44	4.98	24
8	Bunta	3.32	4.77	28

5.2.1 Identifikasi Parameter DAS yang Mempengaruhi Hidrograf

Sebelum dilakukan penyusunan model HSS, terlebih dahulu harus diidentifikasi masing-masing parameter DAS yang berpengaruh terhadap masing-masing parameter hidrograf. Identifikasi dapat dilakukan melalui serangkaian analisis sebagaimana telah dilakukan pada seksi dan bab sebelumnya dengan merujuk pada variabel-variabel yang digunakan pada berbagai model HSS. Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Identifikasi parameter DAS yang mempengaruhi hidrograf

No.	Parameter Hidrograf	Parameter DAS yang Berpengaruh	Sumber
1	Debit puncak (Q_p)	Luas DAS (A)	Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003), Nakayasu (1945, dalam Soemarto, 1985), Nourani et al. (2009), Sri Harto (1985), Montarcih (2009) dan Natakusumah (2011)
		Panjang sungai (L)	Montarcih (2009) dan Lasidi, dkk. (2003)
		Kemiringan sungai utama (S)	Nourani et al. (2009), Montarcih (2009)
		Faktor bentuk (F_b)	Sri Harto (1985) dan Lasidi, dkk. (2003)
		R_B	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)
		R_L	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)
		R_A	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)

Lanjutan Tabel 5.8 Identifikasi parameter DAS yang mempengaruhi hidrograf

No.	Parameter Hidrograf	Parameter DAS yang Berpengaruh	Sumber
2	Waktu puncak (T_p)	Panjang sungai (L)	Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003), Nakayasu (1945, dalam Soemarto, 1985), Sri Harto (1985), Lasidi, dkk. (2003), Nourani et al. (2009) Montarcih (2009), Natakusumah (2011)
		Faktor bentuk (F_b)	Sri Harto (1985) dan Lasidi, dkk. (2003)
		Kerapatan jaringan sungai (D)	Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003) dan Sri Harto (1985)
		R_B	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)
		R_L	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)
		R_A	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)
3	Waktu dasar (T_b)	Luas DAS (A)	Lasidi, dkk. (2003)
		Panjang sungai (L)	Lasidi, dkk. (2003)
		Kemiringan sungai utama (S)	Sri Harto (1985)
		Faktor bentuk (F_b)	Sri Harto (1985)
		R_B, R_L, R_A	Chow (1964), Rodriguez-Iturbe et al. (1979, dalam Irianto, 2003), Fleurant et al. (2003) dan Fleurant et al. (2006)

Selain itu saling ketergantungan antara parameter hidrograf yang satu dengan parameter hidrograf yang lain juga sangat dimungkinkan terjadi. Artinya bahwa parameter hidrograf yang satu dapat mempengaruhi parameter hidrograf yang lain. Contoh yang paling mudah dipahami adalah ketergantungan debit puncak terhadap waktu puncak. Waktu puncak yang pendek (singkat) cenderung menghasilkan debit puncak yang lebih besar (lancip) dari pada waktu puncak

yang panjang dan sebaliknya. Berikut ini (Tabel 5.9) menyajikan identifikasi ketergantungan antara ketiga parameter pokok hidrograf.

Tabel 5.9 Identifikasi parameter hidrograf yang berpengaruh terhadap pengaruh hidrograf

No.	Parameter Hidrograf	Parameter Hidrograf yang Berpengaruh	Sumber
1	Debit puncak (Q_p)	Waktu puncak (T_p)	Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003), Nakayasu (1945, dalam Soemarto, 1985), Nourani et al. (2009), Sri Harto (1985), Montarcih (2009) dan Natakusumah (2011)
2	Waktu puncak (T_p)	–	–
3	Waktu dasar (T_b)	Waktu puncak (T_p)	Snyder (1938, dalam Jain et al., 2003), Nourani et al. (2009), Sri Harto (1985), dan Natakusumah (2011)

5.2.2 Persamaan Waktu Puncak

Berdasarkan identifikasi parameter yang telah dilakukan sebelumnya, maka sebagai langkah awal waktu puncak diasumsikan sebagai fungsi dari panjang sungai (L), faktor bentuk (F_b), kerapatan jaringan sungai (D), nisbah panjang sungai (R_B), nisbah percabangan sungai (R_B) dan nisbah luas DAS (R_A) atau dapat ditulis sebagai:

$$T_p = f(L, F_b, D, R_L, R_B, R_A) \quad (5.1)$$

Untuk menyusun persamaan waktu puncak, pada Tabel 5.10 berikut ini disajikan nilai-nilai parameter yang menjadi variabel bebas dan tak bebas pada 8 DAS yang digunakan sebagai penyusun model.

Tabel 5.10 Variabel untuk menyusun persamaan waktu puncak

No. DAS	Variabel Tak Bebas (T_p)	Variabel Bebas					
		L	F_b	D	R_B	R_L	R_A
1	1.35	10.32	0.30	1.80	2.67	1.23	4.22
2	2.10	15.64	0.39	1.24	1.68	1.03	7.67

Lanjutan Tabel 5.10 Variabel untuk menyusun persamaan waktu puncak

No. DAS	Variabel Tak Bebas (T_p)	Variabel Bebas					
		L	F_b	D	R_B	R_L	R_A
3	2.68	21.82	0.21	1.36	1.62	1.09	5.46
4	2.18	16.48	0.37	1.72	1.68	0.90	5.94
5	3.15	26.81	0.22	1.25	1.79	1.17	5.91
6	2.51	19.99	0.50	1.69	2.21	0.90	4.02
7	2.44	19.19	0.49	1.60	3.38	1.04	4.62
8	3.32	28.70	0.36	1.54	1.79	1.16	4.61

Asumsi yang digunakan untuk menyusun persamaan waktu puncak adalah persamaan regresi linier berganda (*multiple linear regression*). Menggunakan Program Minitab 16, sebagai langkah awal analisis regresi dilakukan dengan cara *Stepwise Regression*, dengan keluaran seperti berikut ini:

Stepwise Regression: TP versus L, Fb, D, RB, RL, RA			
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05			
Response is (TP) on 6 predictors, with N = 8			
Step	1	2	3
Constant	0.4158	0.9026	1.2439
L	0.1032	0.1046	0.1020
T-Value	21.88	37.40	52.82
P-Value	0.000	0.000	0.000
RL		-0.484	-0.524
T-Value		-3.52	-6.10
P-Value		0.017	0.004
D			-0.162
T-Value			-3.02
P-Value			0.039
S	0.0747	0.0439	0.0271
R-Sq	98.76	99.64	99.89
R-Sq(adj)	98.56	99.50	99.81
Mallows Cp	31.7	8.2	3.1

Hitungan selesai pada langkah ke-3, dimana dari 6 variabel bebas yang digunakan pada analisis regresi (L , F_b , D , R_B , R_L dan R_A) untuk memprediksi T_p , hanya 3 variabel yang tersisa yaitu L , R_L dan D . Hasil yang sama juga diperoleh

jika menggunakan cara *Stepwise Regression Forward Selection*, seperti berikut ini:

Stepwise Regression: TP versus L, Fb, D, RB, RL, RA			
Forward selection. Alpha-to-Enter: 0.05			
Response is (TP) on 6 predictors, with N = 8			
Step	1	2	3
Constant	0.4158	0.9026	1.2439
L	0.1032	0.1046	0.1020
T-Value	21.88	37.40	52.82
P-Value	0.000	0.000	0.000
RL		-0.484	-0.524
T-Value		-3.52	-6.10
P-Value		0.017	0.004
D			-0.162
T-Value			-3.02
P-Value			0.039
S	0.0747	0.0439	0.0271
R-Sq	98.76	99.64	99.89
R-Sq(adj)	98.56	99.50	99.81
Mallows Cp	31.7	8.2	3.1

Berdasarkan hasil perhitungan kedua cara tersebut, analisis selanjutnya menggunakan cara regresi linier standar, dengan hasil berikut ini:

Regression Analysis: (TP) versus L, D, RL					
The regression equation is					
TP = 1.24 + 0.102 L - 0.162 D - 0.524 RL					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	1.2439	0.1460	8.52	0.001	
L	0.102036	0.001932	52.82	0.000	
D	-0.16215	0.05375	-3.02	0.039	
RL	-0.52363	0.08585	-6.10	0.004	
S = 0.0270914 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.8%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2.70385	0.90128	1228.00	0.000
Residual Error	4	0.00294	0.00073		
Total	7	2.70679			

Hasil analisis regresi tersebut perlu diuji untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas. Pengujian dilakukan dengan cara uji serentak dan uji individu.

1) Uji serentak (uji varian)

Hipotesa yang dibangun:

$$H_0 : S_i=0 (S_0=S_1=S_2)$$

$$H_1 : \text{Setidaknya ada satu } S_i \neq 0$$

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2.70385	0.90128	1228.00	0.000
Residual Error	4	0.00294	0.00073		
Total	7	2.70679			

S_i parameter yang menjelaskan seberapa besar pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas. Berdasarkan hasil hitungan diperoleh $P_{val} < (5\%)$, berarti menolak H_0 , artinya bahwa paling tidak ada satu $S_i \neq 0$ (paling tidak ada satu koefisien regresi yang tidak sama dengan 0). Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan analisis varian adalah model regresinya masih cukup memadai. Hal ini menunjukkan bahwa pada hasil uji serentak pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas signifikan

2) Uji individu

Hipotesa yang dibangun:

$$H_0 : S_i=0$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.2439	0.1460	8.52	0.001
L	0.102036	0.001932	52.82	0.000
D	-0.16215	0.05375	-3.02	0.039
RL	-0.52363	0.08585	-6.10	0.004

Berdasarkan hasil analisis memperlihatkan bahwa ketiga variabel bebas yang diuji (L , D dan R_L) memiliki $P_{val} < (5\%)$, menolak H_0 , artinya $S_i \neq 0$. Hal ini berarti pengaruh ketiga variabel bebas (L , D dan R_L) signifikan terhadap variabel tak bebas (T_p).

Persamaan regresi yang dihasilkan:

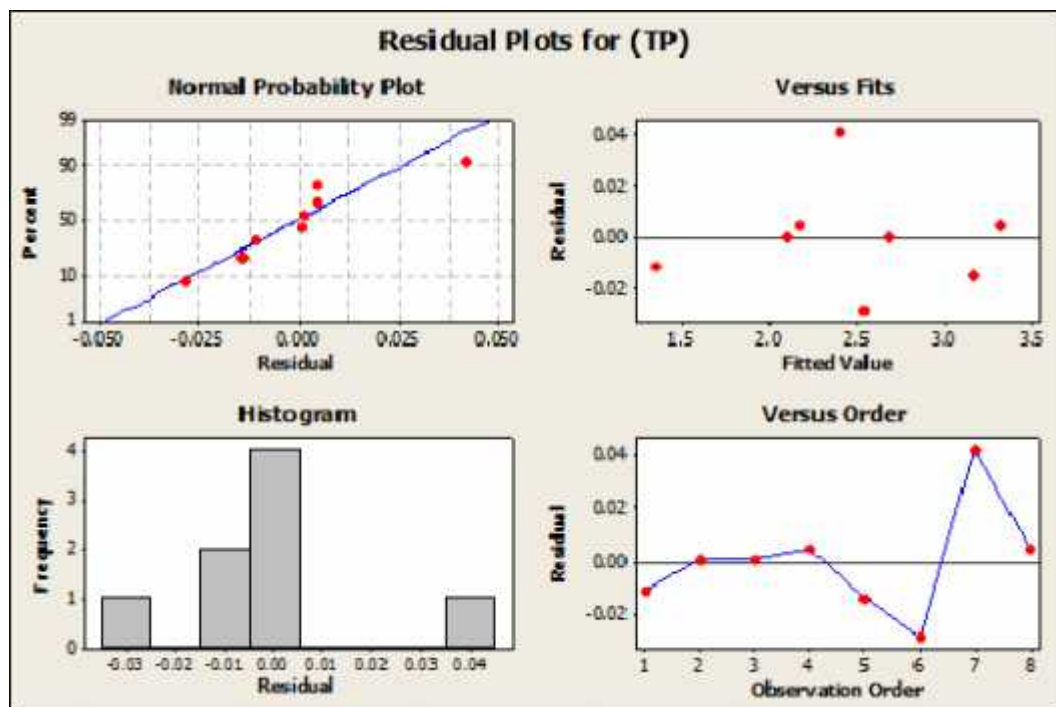
$TP = 1.24 + 0.102 L - 0.162 D - 0.524 RL$ $S = 0.0270914 \quad R-Sq = 99.9\% \quad R-Sq(adj) = 99.8\%$

Kedua uji menunjukkan bahwa model regresi tersebut sudah optimal (*good fit*), model ini memiliki koefisien determinasi (r^2) = 99.9%, mendekati 100% berarti model yang dihasilkan memiliki kinerja sangat baik dimana r^2 menjelaskan keragaman variabel bebas yang bisa dijelaskan oleh variabel tak bebas. Dengan demikian persamaan regresi yang dihasilkan untuk T_p adalah:

$$T_p = 1.0102L - 0.162D + 1.24R_L \quad (5.2)$$

Persamaan tersebut dapat diinterpretasikan bahwa nilai T_p meningkat sebanding $0.102L$ dan menurun sebanding dengan $0.162D$ dan $0.524R_L$.

Untuk menguji (menentukan) bentuk terbaik dari model artinya bahwa apakah model sudah menunjukkan kinerja yang baik, selain dilihat dari nilai koefisien determinasi dan analisis varian, model juga dapat dianalisis berdasarkan pengujian residual, diantaranya terdistribusi normal, tidak saling berautokorelasi dan variannya homogen. Penyajian residual hasil regresi ditampilkan pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Penyajian grafis residual hasil regresi

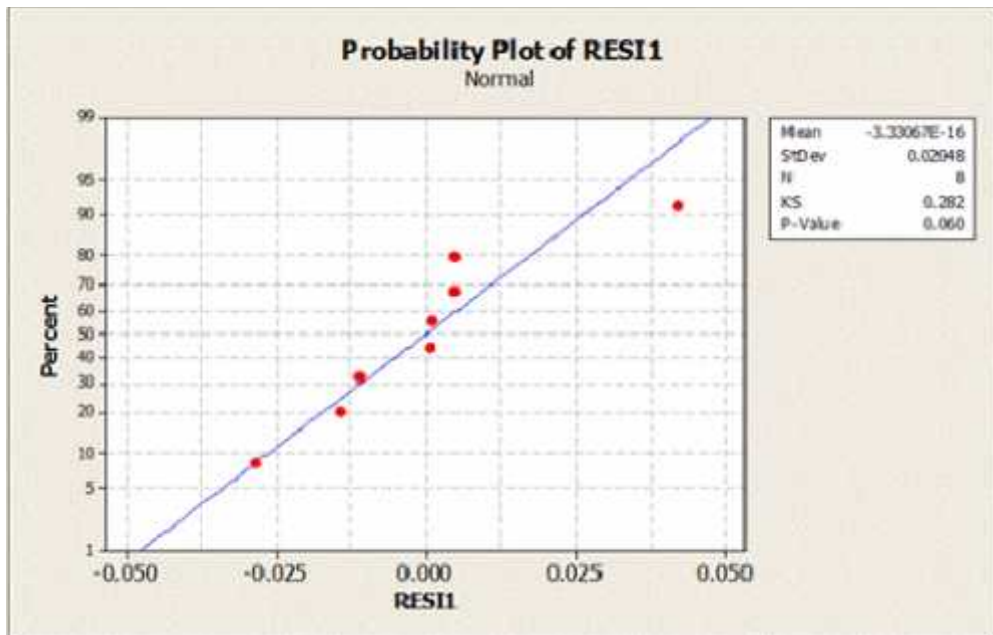
1) Uji Normalitas

Untuk pengujian distribusi normal, hipotesa yang dibangun:

H_0 : Data mengikuti distribusi normal

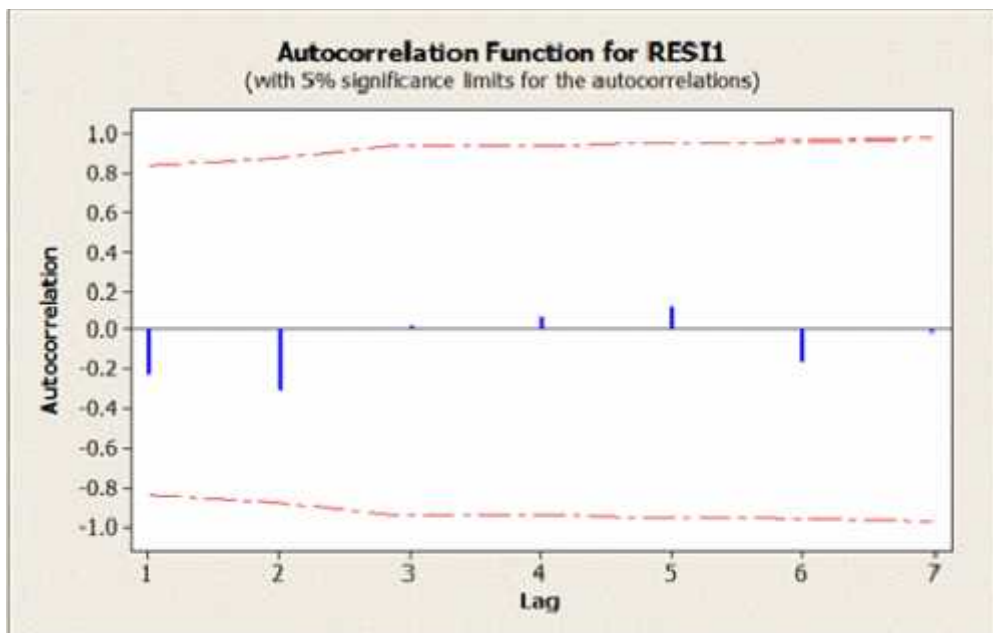
H_1 : Data tidak mengikuti distribusi normal

Berdasarkan uji normalitas residual (RES1) menggunakan Metode Kolmogorov-Smirnov seperti ditampilkan pada Gambar 5.4, diperoleh bahwa $P_{val} > (5\%)$, berarti gagal menolak H_0 , artinya bahwa data residual terdistribusi normal. Hal ini juga dapat dilihat pada histogram residual yang bentuknya cenderung mengikuti kurva normal (Gambar 5.3).



Gambar 5.4 Kurva probabilitas normal residual

2) Uji Autokorelasi



Gambar 5.5 Grafik autokorelasi residual

Pengujian autorelasi didasarkan pada Fungsi Autokorelasi. Berdasarkan kurva *Autocorrelation Function for Residual* seperti tersaji pada Gambar 5.5, terlihat bahwa garis autokorelasi residual tidak ada yang melampaui batas kurva, hal berarti tidak ada autokorelasi dengan residual.

3) Uji Homogenitas Varian

Untuk pengujian homogenitas varian, terlebih dahulu dihitung nilai absolut residual dan selanjutnya dilakukan analisis regresi. Hipotesa yang dibangun adalah sebagai berikut:

H0 : Varian residual sudah homogen (homoskedastisitas)

H1 : Varian residual tidak homogen (heteroskedastisitas)

Regression Analysis: ABS_RES versus L, D, RL					
The regression equation is					
ABS_RES = - 0.0156 + 0.00049 L + 0.0268 D - 0.0202 RL					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-0.01563	0.09560	-0.16	0.878	
L	0.000485	0.001264	0.38	0.721	
D	0.02680	0.03518	0.76	0.489	
RL	-0.02024	0.05619	-0.36	0.737	
S = 0.0177334 R-Sq = 16.9% R-Sq(adj) = 0.0%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.0002560	0.0000853	0.27	0.844
Residual Error	4	0.0012579	0.0003145		
Total	7	0.0015139			

Berdasarkan hasil hitungan, semua P_{val} dari variabel bebas $>$ (5%), berarti varian residual sudah homogen (homoskedastisitas).

Kesimpulan yang dapat diambil dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan adalah persamaan regresi yang dihasilkan memiliki kinerja yang baik dan memenuhi syarat pengujian.

Bila diasumsikan persamaan waktu puncak merupakan fungsi tak linier dari 6 variabel tersebut, maka fungsi dapat diselesaikan secara linier dengan merubah variabel tak bebas dan variabel bebas menjadi nilai logaritma, sehingga fungsi dapat dinyatakan dengan:

$$\log Y_p = f(\log L, \log F_b, \log D, \log RB, \log RE, \log RA) \quad (5.3)$$

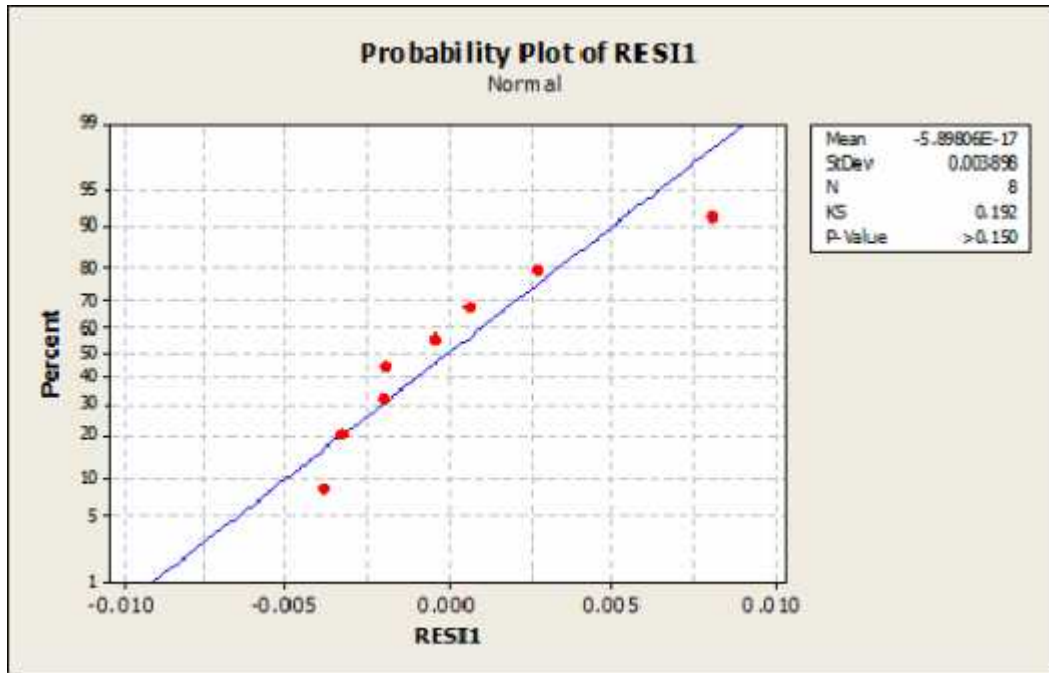
Menggunakan *stepwise regression* untuk menyeleksi variabel yang berpengaruh diperoleh hasil analisis seperti berikut ini:

Stepwise Regression: LOG Tp versus LOG L, LOG FB, ...			
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05			
Response is LOG Tp on 6 predictors, with N = 8			
Step	1	2	3
Constant	-0.7196	-0.7164	-0.7649
LOG L	0.858	0.859	0.857
T-Value	23.83	35.41	62.10
P-Value	0.000	0.000	0.000
LOG RL		-0.194	-0.181
T-Value		-2.87	-4.70
P-Value		0.035	0.009
LOG RA			0.071
T-Value			3.39
P-Value			0.028
S	0.0135	0.00907	0.00516
R-Sq	98.95	99.60	99.90
R-Sq(adj)	98.78	99.45	99.82
Mallows Cp	31.0	11.2	3.4

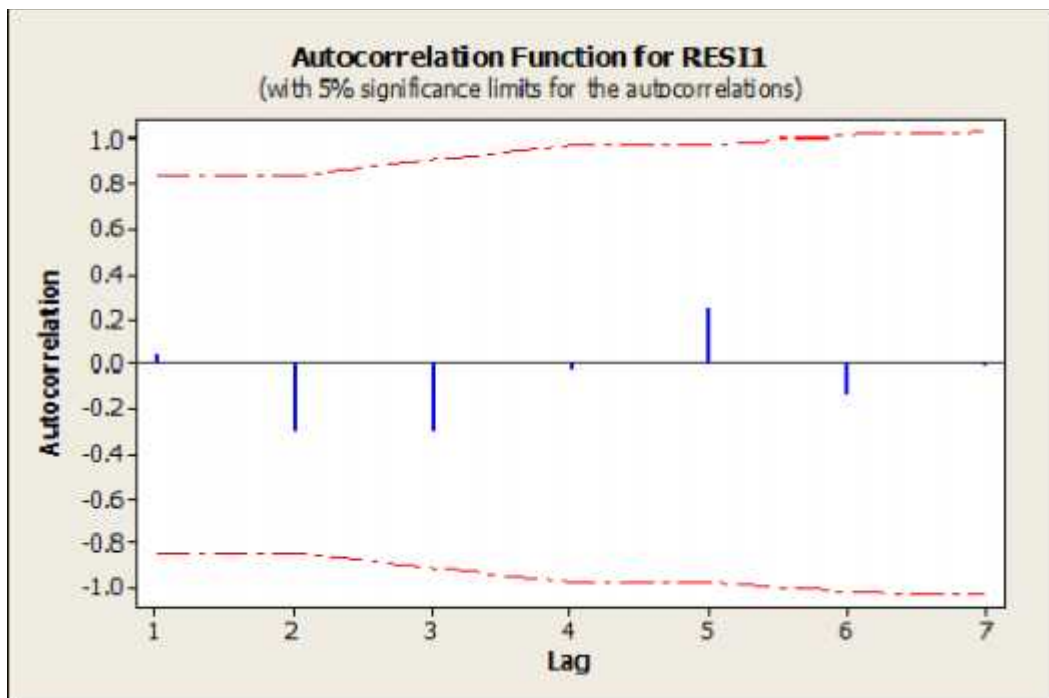
Terlihat bahwa hasil analisis menunjukkan hitungan selesai pada langkah ke 3, dengan 3 variabel bebas berpengaruh yakni L , R_L dan R_A . Untuk mengetahui signifikansi pengaruh kedua variabel tersebut maka dapat diuji dengan cara uji serentak dan uji individu, berikut ini:

Regression Analysis: LOG Tp versus LOG L, LOG RL, LOG RA					
The regression equation is					
LOG Tp = - 0.765 + 0.857 LOG L - 0.181 LOG RL + 0.0708 LOG RA					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-0.76486	0.02280	-33.55	0.000	
LOG L	0.85745	0.01381	62.10	0.000	
LOG RL	-0.18149	0.03860	-4.70	0.009	
LOG RA	0.07084	0.02091	3.39	0.028	
S = 0.00515683 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.8%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.103942	0.034647	1302.88	0.000
Residual Error	4	0.000106	0.000027		
Total	7	0.104048			

Uji serentak (varian) dan uji individu, menunjukkan semua $P_{val} < (5\%)$, berarti kedua uji menunjukkan bahwa ketiga variabel bebas mempunyai pengaruh signifikan terhadap T_p . Selanjutnya dilakukan pengujian residual meliputi uji normalitas, uji autokorelasi dan uji homogenitas, seperti Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 berikut ini:



Gambar 5.6 Kurva probabilitas normal residual LOG T_p



Gambar 5.7 Grafik autokorelasi residual LOG T_p

Regression Analysis: ABS_RESI1 versus LOG L, LOG RL, LOG RA					
The regression equation is					
ABS_RESI1 = - 0.0085 + 0.00617 LOG L - 0.0215 LOG RL + 0.0049 LOG RA					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-0.00849	0.01494	-0.57	0.600	
LOG L	0.006173	0.009048	0.68	0.533	
LOG RL	-0.02152	0.02530	-0.85	0.443	
LOG RA	0.00489	0.01370	0.36	0.739	
S = 0.00337959 R-Sq = 25.7% R-Sq(adj) = 0.0%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00001578	0.00000526	0.46	0.725
Residual Error	4	0.00004569	0.00001142		
Total	7	0.00006147			
Source	DF	Seq SS			
LOG L	1	0.00000532			
LOG RL	1	0.00000901			
LOG RA	1	0.00000145			

Hasil ketiga uji terhadap residual menunjukkan bahwa data residual mengikuti distribusi normal ($P_{val} > \alpha$, gagal tolak H_0), data residual tidak saling berautokorelasi (garis autokorelasi residual tidak ada yang melampaui batas kurva) dan varian residual sudah homogen ($P_{val} > \alpha$, gagal tolak H_0). Berdasarkan hasil analisis tersebut persamaan yang dihasilkan memiliki nilai r^2 sebesar 99.9%, dengan bentuk seperti berikut ini:

$$\text{LOG TP} = 0.85 \text{ LOG L} + 0.181 \text{ LOG RL} + 0.0708 \text{ LOG RA} - 0.765 \quad (5.4a)$$

$$\text{TP} = 0.1718 L^{0.0057} R_L^{0.0181} R_A^{0.0708} - 0.765 \quad (5.4b)$$

5.2.3 Persamaan Waktu Dasar

Persamaan waktu dasar sebagaimana telah dilakukan identifikasi parameter sebelumnya dan juga didasarkan pada persamaan-persamaan waktu dasar pada berbagai model HSS, dianggap sebagai fungsi dari luas DAS (A), panjang sungai (L), kemiringan sungai utama (S), faktor bentuk (F_b) dan nisbah luas DAS (R_A) dan dapat dinyatakan sebagai:

$$T_b = f(A, L, S, F_b, D, R_B, R_L, R_A) \quad (5.5)$$

Berikut disajikan nilai-nilai parameter yang digunakan sebagai penyusun persamaan waktu dasar sebagai variabel bebas dan tak bebas (Tabel 5.11).

Tabel 5.11 Variabel untuk menyusun persamaan waktu dasar

No. DAS	Variabel Tak Bebas	Variabel Bebas							
	(T_b)	A	L	S	F_b	D	R_B	R_L	R_A
1	12	23.88	10.32	0.07639	0.30	1.80	2.67	1.23	4.22
2	16	49.35	15.64	0.03422	0.39	1.24	1.68	1.03	7.67
3	18	65.51	21.82	0.06532	0.21	1.36	1.62	1.09	5.46
4	16	68.19	16.48	0.08948	0.37	1.72	1.68	0.90	5.94
5	26	116.05	26.81	0.04569	0.22	1.25	1.79	1.17	5.91
6	24	118.19	19.99	0.09755	0.50	1.69	2.21	0.90	4.02
7	24	128.75	19.19	0.10812	0.49	1.60	3.38	1.04	4.62
8	28	144.73	28.70	0.06359	0.36	1.54	1.79	1.16	4.61

Persamaan waktu dasar disusun menggunakan regresi linier berganda (*multiple linear regression*) sama seperti penyusunan persamaan waktu puncak. Menggunakan Program Minitab 16 dengan cara *Stepwise Regression*, untuk menyeleksi parameter yang dominan berpengaruh, diperoleh hasil seperti berikut ini:

Stepwise Regression: TB versus A, L, S, Fb, D, RB, RL, RA		
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05		
Response is Tb on 8 predictors, with N = 8		
Step	1	2
Constant	8.930	11.460
A	0.1295	0.1361
T-Value	11.03	19.30
P-Value	0.000	0.000
S		-43
T-Value		-3.58
P-Value		0.016
S	1.34	0.778
R-Sq	95.30	98.68
R-Sq(adj)	94.52	98.16
Mallows Cp	10.9	2.2

Hitungan selesai pada langkah ke-2, dimana dari 8 variabel bebas yang digunakan pada analisis regresi ($A, L, S, F_b, D, R_B, R_L$ dan R_A) untuk memprediksi

T_b , hanya 2 variabel yang tersisa yaitu A dan S . Hasil yang sama juga diperoleh jika menggunakan cara *Stepwise Regression Forward Selection*, seperti berikut ini:

Stepwise Regression: TB versus A, L, S, Fb, D, RB, RL, RA		
Forward selection. Alpha-to-Enter: 0.05		
Response is Tb on 8 predictors, with N = 8		
Step	1	2
Constant	8.930	11.460
A	0.1295	0.1361
T-Value	11.03	19.30
P-Value	0.000	0.000
S		-43
T-Value		-3.58
P-Value		0.016
S	1.34	0.778
R-Sq	95.30	98.68
R-Sq(adj)	94.52	98.16
Mallows Cp	10.9	2.2

Berdasarkan hasil analisis menggunakan kedua cara tersebut, analisis selanjutnya menggunakan cara regresi linier standar, dengan keluaran seperti berikut ini:

Regression Analysis: Tb versus A, S					
The regression equation is					
$T_b = 11.5 + 0.136 A - 43.0 S$					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	11.4596	0.9716	11.79	0.000	
A	0.136118	0.007053	19.30	0.000	
S	-43.00	12.00	-3.58	0.016	
S = 0.778270 R-Sq = 98.7% R-Sq(adj) = 98.2%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	226.97	113.49	187.36	0.000
Residual Error	5	3.03	0.61		
Total	7	230.00			

Untuk mengetahui tingkat signifikansi pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas, selanjutnya dilakukan pengujian dengan cara uji serentak dan uji individu.

1) Uji serentak (uji varian)

Hipotesa yang dibangun:

$$H_0 : S_i=0 (S_0=S_1=S_2)$$

H_1 : Setidaknya ada satu $S_i \neq 0$

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	226.97	113.49	187.36	0.000
Residual Error	5	3.03	0.61		
Total	7	230.00			

Berdasarkan hasil analisis diperoleh $P_{val} < (5\%)$, berarti menolak H_0 , artinya bahwa paling tidak ada satu $S_i \neq 0$. Hal ini menunjukkan bahwa pada hasil uji serentak pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas signifikan

2) Uji individu

Hipotesa yang dibangun:

H_0 : $S_i = 0$

H_1 : $S_i \neq 0$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	11.4596	0.9716	11.79	0.000
A	0.136118	0.007053	19.30	0.000
S	-43.00	12.00	-3.58	0.016

Berdasarkan hasil analisis memperlihatkan bahwa kedua variabel bebas yang diuji (A dan S) memiliki $P_{val} < (5\%)$, menolak H_0 , artinya $S_i \neq 0$. Hal ini berarti pengaruh kedua variabel bebas (L , D dan R_L) signifikan terhadap variabel tak bebas (T_b).

Persamaan regresi yang dihasilkan:

$T_b = 11.5 + 0.136 A - 43.0 S$
$S = 0.778270$ $R\text{-Sq} = 98.7\%$ $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 98.2\%$

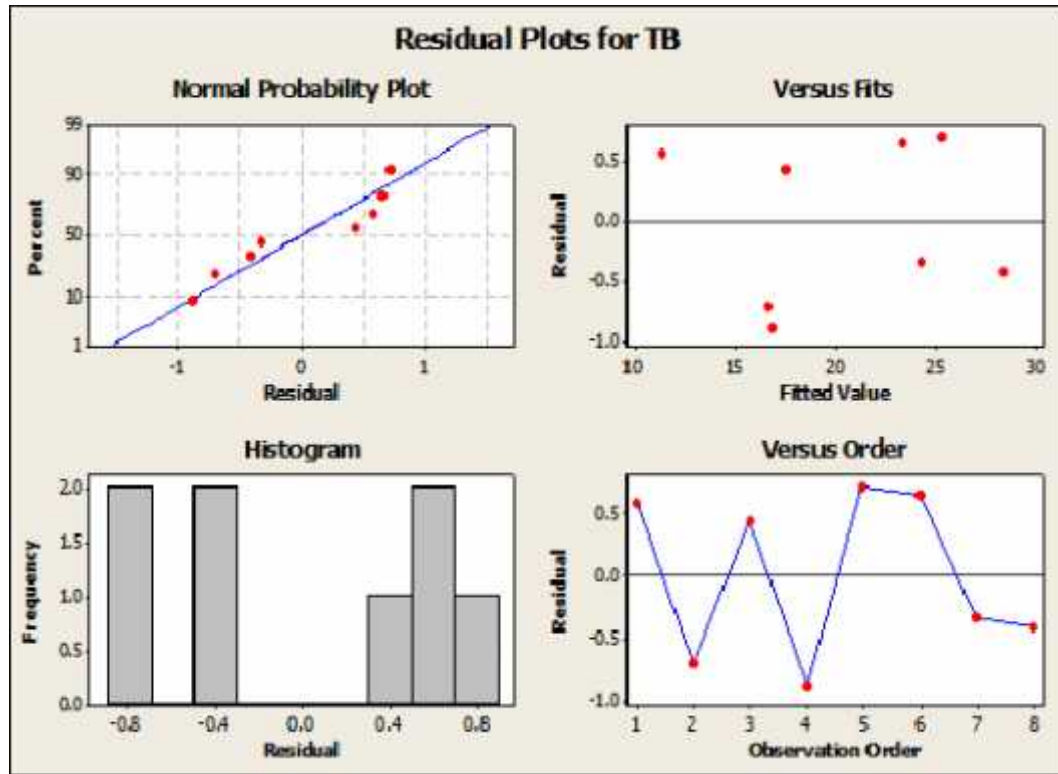
Kedua uji menunjukkan bahwa model regresi tersebut sudah optimal (*good fit*), model ini memiliki koefisien determinasi (r^2) = 98.7 % berarti model yang dihasilkan memiliki kinerja sangat baik. Dengan demikian persamaan regresi yang dihasilkan untuk T_b adalah:

$$T_b = 11.5 + 0.136 A - 43.0 S \quad (5.6)$$

Persamaan tersebut dapat diinterpretasikan bahwa nilai T_b meningkat sebanding $0.136A$ dan menurun sebanding dengan $43.0S$.

Mengikuti prosedur yang sama dengan pengujian persamaan regresi waktu puncak, selanjutnya dilakukan pengujian residual, meliputi pengujian

normalitas, autokorelasi dan homogenitas varian. Penyajian residual hasil regresi ditampilkan pada Gambar 5.8 berikut ini, yang digambarkan dalam 4 bentuk kurva.



Gambar 5.8 Penyajian grafis residual hasil regresi untuk T_b

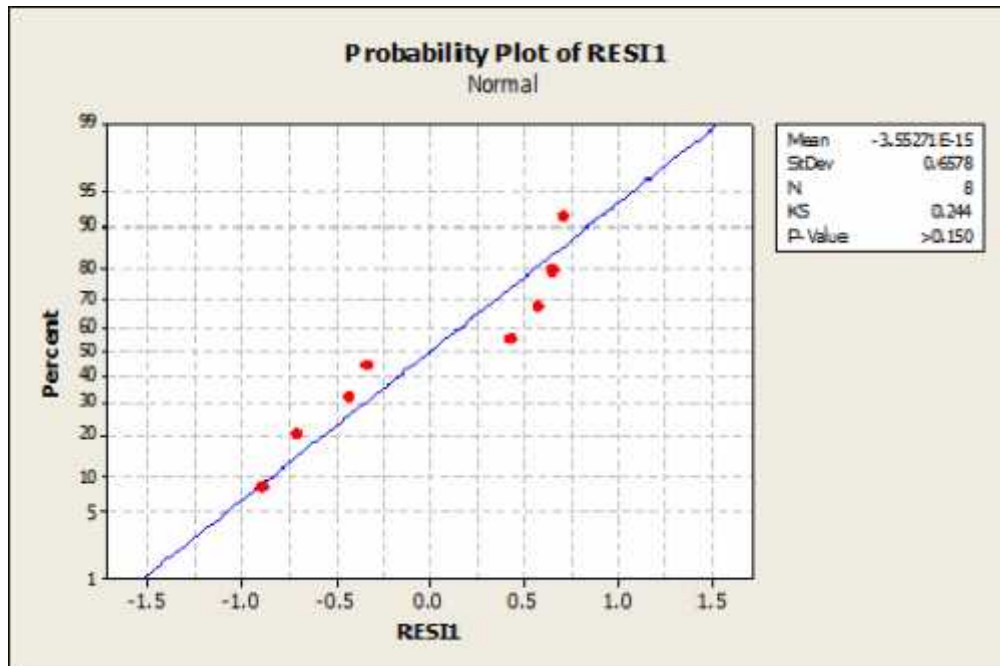
1) Uji Normalitas

Untuk pengujian distribusi normal, menggunakan hipotesa seperti berikut ini:

H_0 : Data mengikuti distribusi normal

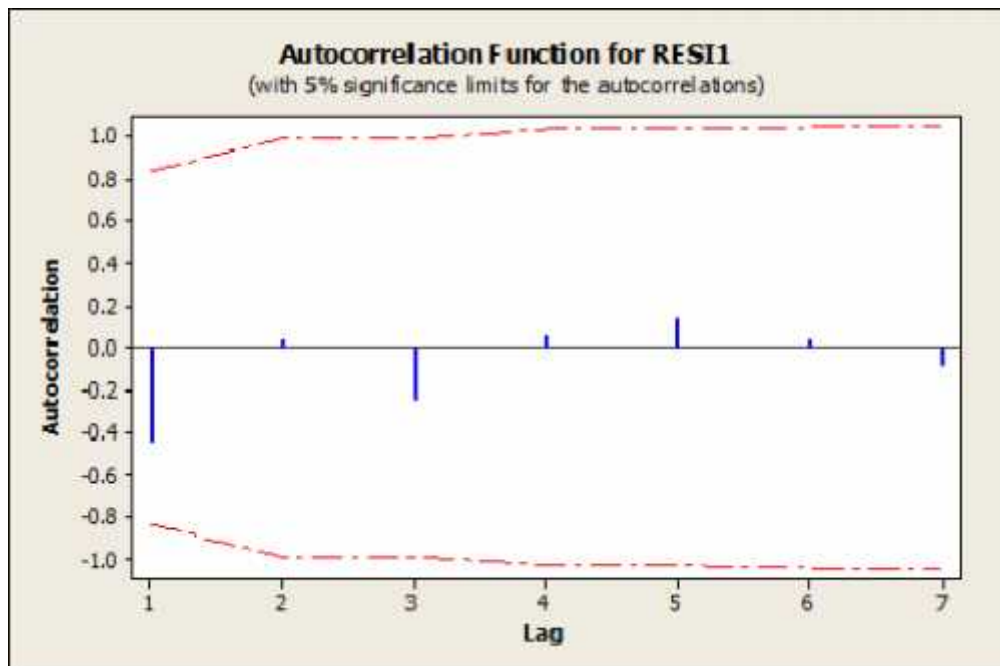
H_1 : Data tidak mengikuti distribusi normal

Sebagaimana pengujian residual untuk T_p , uji normalitas residual (RES1) untuk T_b juga menggunakan Metode Kolmogorov-Smirnov seperti ditampilkan pada Gambar 5.9. Berdasarkan uji tersebut diperoleh bahwa $P_{val} > (5\%)$, berarti gagal menolak H_0 , artinya bahwa data residual terdistribusi normal. Hal ini juga dapat dilihat pada histogram residual yang bentuknya cenderung mengikuti kurva normal sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.8.



Gambar 5.9 Kurva probabilitas normal residual T_B

2) Uji Autokorelasi



Gambar 5.10 Grafik autokorelasi residual T_b

Pengujian autorelasi didasarkan pada Fungsi Autokorelasi. Berdasarkan kurva *Autocorrelation Function for Residual* seperti tersaji pada Gambar 5.10, terlihat bahwa garis autokorelasi residual tidak ada yang melampaui batas kurva, hal berarti tidak ada autokorelasi dengan residual.

3) Uji Homogenitas Varian

Untuk pengujian homogenitas varian, terlebih dahulu dihitung nilai absolut residual dan selanjutnya dilakukan analisis regresi. Hipotesa yang dibangun adalah sebagai berikut:

H_0 : Varian residual sudah homogen (homoskedastisitas)

H_1 : Varian residual tidak homogen (heteroskedastisitas)

Regression Analysis: ABS_RES versus A, S					
The regression equation is					
ABS_RES = 0.792 - 0.00141 A - 1.04 S					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.7921	0.2515	3.15	0.025	
A	-0.001415	0.001826	-0.77	0.473	
S	-1.038	3.106	-0.33	0.752	
S = 0.201489 R-Sq = 15.4% R-Sq(adj) = 0.0%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.03690	0.01845	0.45	0.659
Residual Error	5	0.20299	0.04060		
Total	7	0.23989			

Berdasarkan hasil hitungan, $P_{val} > (5\%)$, berarti varian residual sudah homogen (homoskedastisitas).

Bila diasumsikan persamaan waktu dasar merupakan fungsi tak linier dari 8 variabel sebagaimana telah disampaikan sebelumnya yaitu $A, L, S, F_b, D, R_B, R_L$, dan R_A , maka fungsi dapat diselesaikan secara linier dengan merubah variabel tak bebas dan variabel bebas menjadi nilai logaritma, sehingga fungsi dapat dinyatakan dengan:

$$\log TB = f(\log A, \log L, \log S, \log F_b, \log D, \log RB, \log RL, \log RA) \quad (5.7)$$

Menggunakan *stepwise regression* untuk menyeleksi variabel yang berpengaruh diperoleh hasil analisis seperti berikut ini:

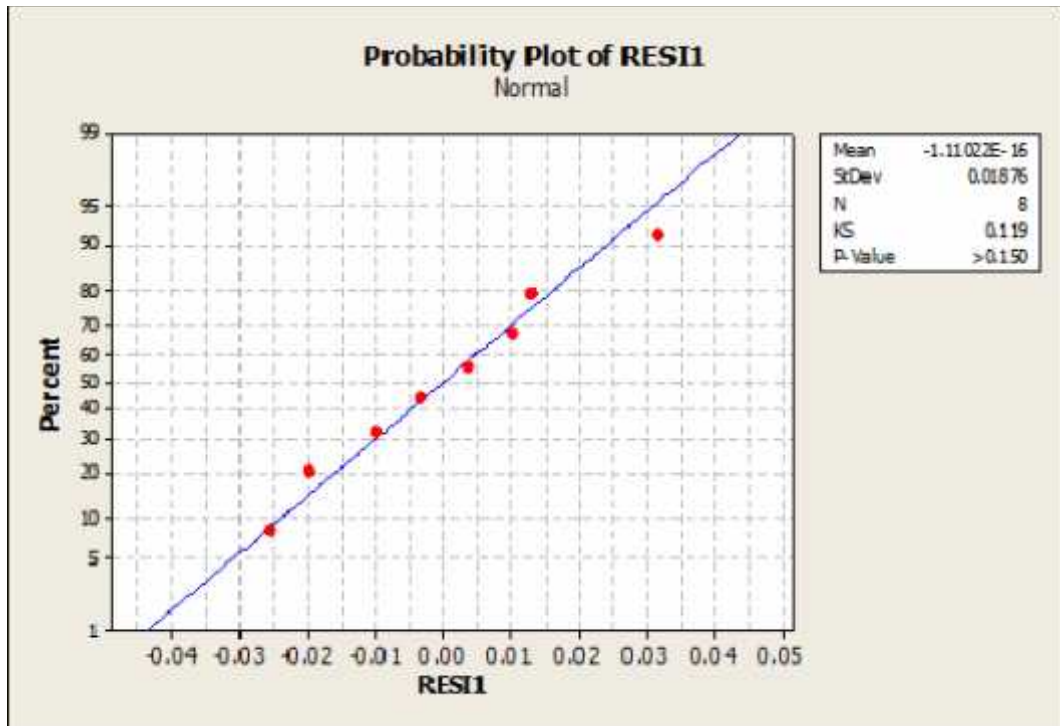
Stepwise Regression: LOG TB versus LOG A, LOG L, LOG S, LOG Fb, LOG D, LOG RA, LOG RB, LOG RL	
Alpha-to-Enter:	0.05 Alpha-to-Remove: 0.05
Response is TB on 8 predictors, with N = 8	

Step	1	2
Constant	0.4057	0.3436
LOG A	0.471	0.497
T-Value	9.57	15.20
P-Value	0.000	0.000
LOG RL		0.53
T-Value		3.09
P-Value		0.027
S	0.0346	0.0222
R-Sq	93.85	97.89
R-Sq(adj)	92.82	97.04

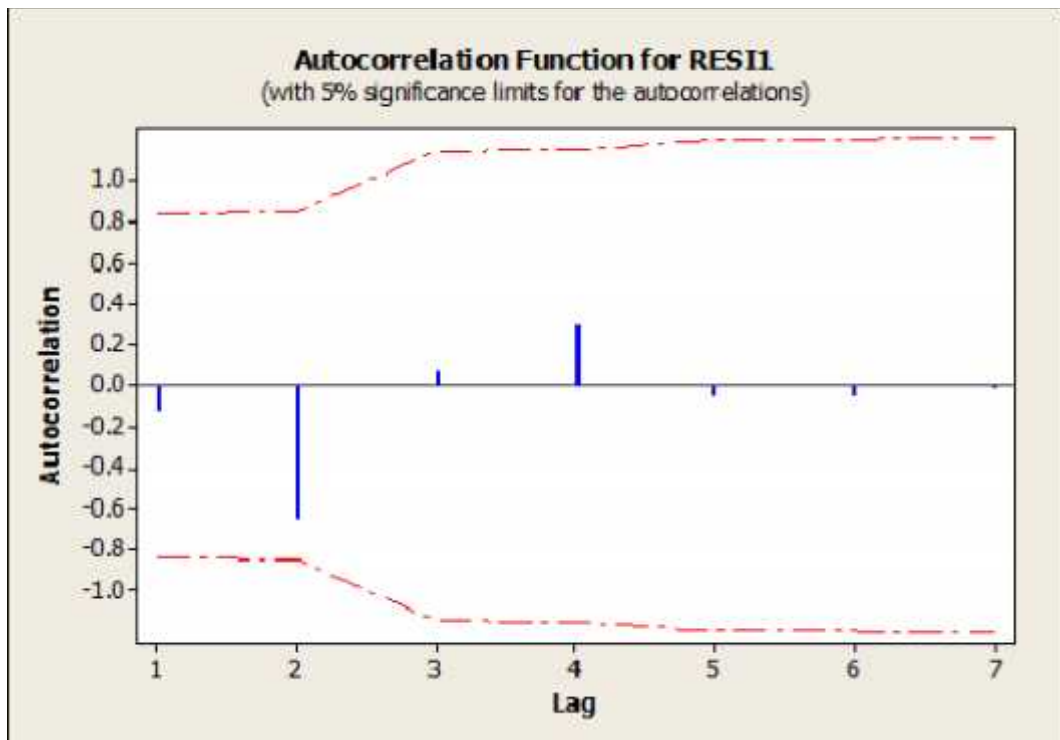
Tampak bahwa hasil analisis menunjukkan hitungan selesai pada langkah ke 2, dengan 2 variabel bebas berpengaruh yakni *A* dan *RL*. Untuk mengetahui signifikansi pengaruh kedua variabel tersebut maka dapat diuji dengan cara uji serentak dan uji individu, berikut ini:

Regression Analysis: LOG Tb versus LOG A, LOG RL					
The regression equation is					
LOG Tb = 0.344 + 0.497 LOG A + 0.529 LOG RL					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.34358	0.06346	5.41	0.003	
LOG A	0.49651	0.03266	15.20	0.000	
LOG RL	0.5295	0.1711	3.09	0.027	
S = 0.0221997 R-Sq = 97.9% R-Sq(adj) = 97.0%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.114274	0.057137	115.94	0.000
Residual Error	5	0.002464	0.000493		
Total	7	0.116739			
Source	DF	Seq SS			
LOG A	1	0.109557			
LOG RL	1	0.004718			

Uji serentak (varian) dan uji individu, menunjukkan semua $P_{val} < (5\%)$, berarti kedua uji menunjukkan bahwa ketiga variabel bebas. mempunyai pengaruh signifikan terhadap T_b . Selanjutnya dilakukan pengujian residual meliputi uji normalitas, uji autokorelasi dan uji homogenitas, seperti Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut ini:



Gambar 5.11 Kurva probabilitas normal residual LOG TB



Gambar 5.12 Grafik autokorelasi residual LOG TB

Regression Analysis: ABS_RESI1 versus A, RL
 The regression equation is
 $ABS_RESI1 = 0.0134 + 0.00310 A - 0.186 RL$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.01344	0.01153	1.17	0.296
LOG A	0.003101	0.005930	0.52	0.623
LOG RL	-0.18577	0.03108	-5.98	0.002

S = 0.00403146 R-Sq = 89.0% R-Sq(adj) = 84.5%

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.00065433	0.00032717	20.13	0.004
Residual Error	5	0.00008126	0.00001625		
Total	7	0.00073559			

Source	DF	Seq SS
LOG A	1	0.00007359
LOG RL	1	0.00058074

Hasil ketiga uji terhadap residual menunjukkan bahwa data residual mengikuti distribusi normal ($P_{val} > \alpha$, gagal tolak H_0), data residual tidak saling berautokorelasi (garis autokorelasi residual tidak ada yang melampaui batas kurva) tetapi varian residual tidak homogen ($P_{val} < \alpha$, tolak H_0). Berdasarkan hasil analisis tersebut persamaan yang dihasilkan memiliki nilai r^2 sebesar 97.9%, dengan bentuk seperti berikut ini:

$$T_b = 2.208 + 0.497 \log A + 0.52 \log RL \quad (5.8a)$$

$$T_b = 2.208 + 0.497 \log A + 0.52 \log RL \quad (5.8b)$$

5.2.4 Persamaan Debit Puncak

Persamaan debit puncak disusun menggunakan beberapa parameter DAS yang berpengaruh terhadap hidrograf dan parameter waktu puncak, mengikuti kesetimbangan volume hujan dan volume hidrograf di bawah kurva hidrograf satuan. Persamaan kurva hidrograf didasarkan pada hidrograf satuan tak berdimensi menurut prinsip konservasi massa sebagaimana yang dilakukan pada HSS ITB-1 dan ITB-2 (Natakusumah dkk., 2011) untuk mendapatkan volume hujan efektif satu satuan yang jatuh merata di seluruh DAS (V_{das} , m^3) harus sama dengan volume hidrograf satuan tak berdimensi (V_{hss} , m^3), yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$V_{das} = V_{hss} + Q_p \cdot T_p \quad (5.9)$$

$$V_{das} = \frac{V_{hss}}{F} + A \cdot Q_p \cdot T_p \quad (5.10)$$

Dimana R_0 = hujan efektif satuan (mm), A = luas DAS (km^2), A_{hss} = luas bidang dibawah kurva hidrograf satuan sintetik tak berdimensi (tak bersatuan). Penggabungan kedua persamaan tersebut (mengikuti prosedur HSS ITB-1 dan ITB-2), dengan menyeragamkan satuan mendapatkan:

$$Q_p = \frac{R_0 A}{3.6 T_p A_{hss}} \quad (5.11)$$

Pada Persamaan 5.11, tidak terlihat secara langsung parameter fraktal dan morfometri DAS menjadi variabel dari debit puncak. Bila dicermati pada persamaan tersebut, debit puncak merupakan fungsi dari waktu puncak (T_p) dimana waktu puncak berdasarkan persamaan sebelumnya ditetapkan berdasarkan parameter fraktal dan morfometri DAS. Dengan demikian secara tidak langsung, Persamaan 5.11 telah mengakomodasi parameter fraktal dan morfometri DAS.

Luas bidang di bawah hidrograf (A_{hss}) dapat dihitung dengan Metode Trapesium (Natakusumah dkk., 2011). Namun dalam pendekatan ini, untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti, A_{hss} dapat dihitung dengan Metode Simpson 1/3 atau metode lain yang dianggap mempunyai tingkat akurasi yang lebih baik, seperti Metode Simpson 3/8 dan Kuadratur (Triatmodjo, 2002), dengan konsekuensi persamaan menjadi lebih rumit. Pada kasus ini, A_{hss} disarankan dihitung dengan Metode Simpson 1/3, dengan pertimbangannya selain persamaannya cukup sederhana, juga memiliki ketelitian yang lebih baik dari Metode Trapesium, sehingga akan berpengaruh terhadap debit puncak (Q_p). Metode Simpson 1/3 dinyatakan dengan persamaan:

$$A_t = \frac{t-t_0}{6} \left[f(x^{t-1}) + 4 f\left(\frac{x^{t-1} + x^t}{2}\right) + f(x^t) \right] \quad (5.12)$$

Untuk menghitung luasan di bawah kurva hidrograf, persamaan tersebut menjadi:

$$A_t = \frac{t-t_0}{6} \left[q^{t-1} + 4 q^{0.5[t+(t-1)]} + q^t \right] \quad (5.13)$$

Dimana A =luas bidang kurva (tak berdimensi), $t=T/T_p$ dan $q=Q/Q_p$. Dengan cara yang sama volume hidrograf pada setiap rentang waktu dapat dihitung.

5.2.5 Persamaan Kurva Hidrograf

Penyusunan persamaan kurva hidrograf didasarkan pada kurva hidrograf tunggal untuk memudahkan dan menyederhanakan prosedur perhitungan.

Beberapa model HSS yang menggunakan persamaan kurva hidrograf tunggal seperti pada Tabel 5.12 berikut ini:

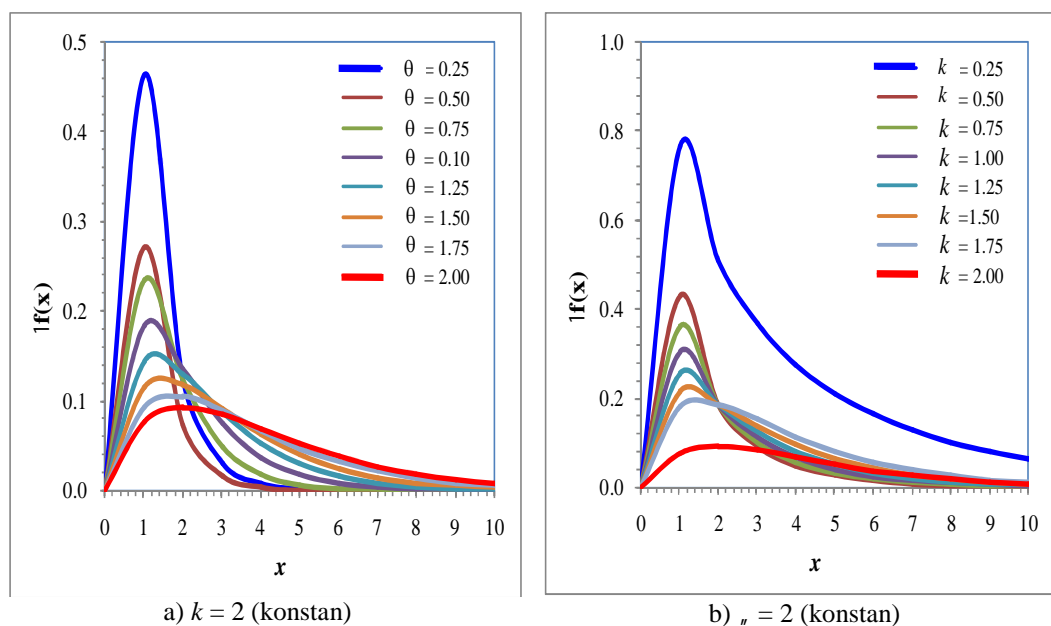
Tabel 5.12 Identifikasi model HSS yang menggunakan persamaan kurva hidrograf tunggal

No.	Model HSS	Kelebihan	Keterbatasan
1	Snyder-Alexejev	Hitungan lebih sederhana karena dinyatakan dengan persamaan kurva hidrograf tunggal	Diperlukan koreksi debit agar kedalaman hujan sama dengan 1 satuan
2	SCS	Hitungan lebih sederhana karena dinyatakan dengan persamaan kurva hidrograf tunggal	(a) Rasio debit tidak dinyatakan dalam bentuk persamaan, tetapi dalam bentuk konstanta, sehingga diperlukan interpolasi untuk mendapatkan rasio debit yang bersesuaian dengan rasio waktu yang tidak terdapat pada Tabel SCS (b) Diperlukan koreksi debit agar kedalaman hujan sama dengan 1 satuan
3	HSS ITS-1	Hitungan lebih sederhana karena dinyatakan dengan persamaan kurva hidrograf tunggal	(a) Nilai koefisien r harus hampir sama dengan 2, untuk menghindari ketidaksesuaian debit puncak dengan waktu puncak. Oleh karena itu tidak perlu dinyatakan sebagai koefisien (b) Koefisien S harus bernilai hampir sama dengan koefisien x , untuk menghindari ketidaksesuaian debit puncak dengan waktu puncak. Oleh karena itu koefisien S dan x dapat diganti dengan sebuah koefisien tunggal
4	ITB-1	Hitungan lebih sederhana karena dinyatakan dengan persamaan kurva hidrograf tunggal dan tidak diperlukan koreksi debit	Rasio debit pada saat $t = 0$ tak terdefinisi akibat pembagian dengan 0

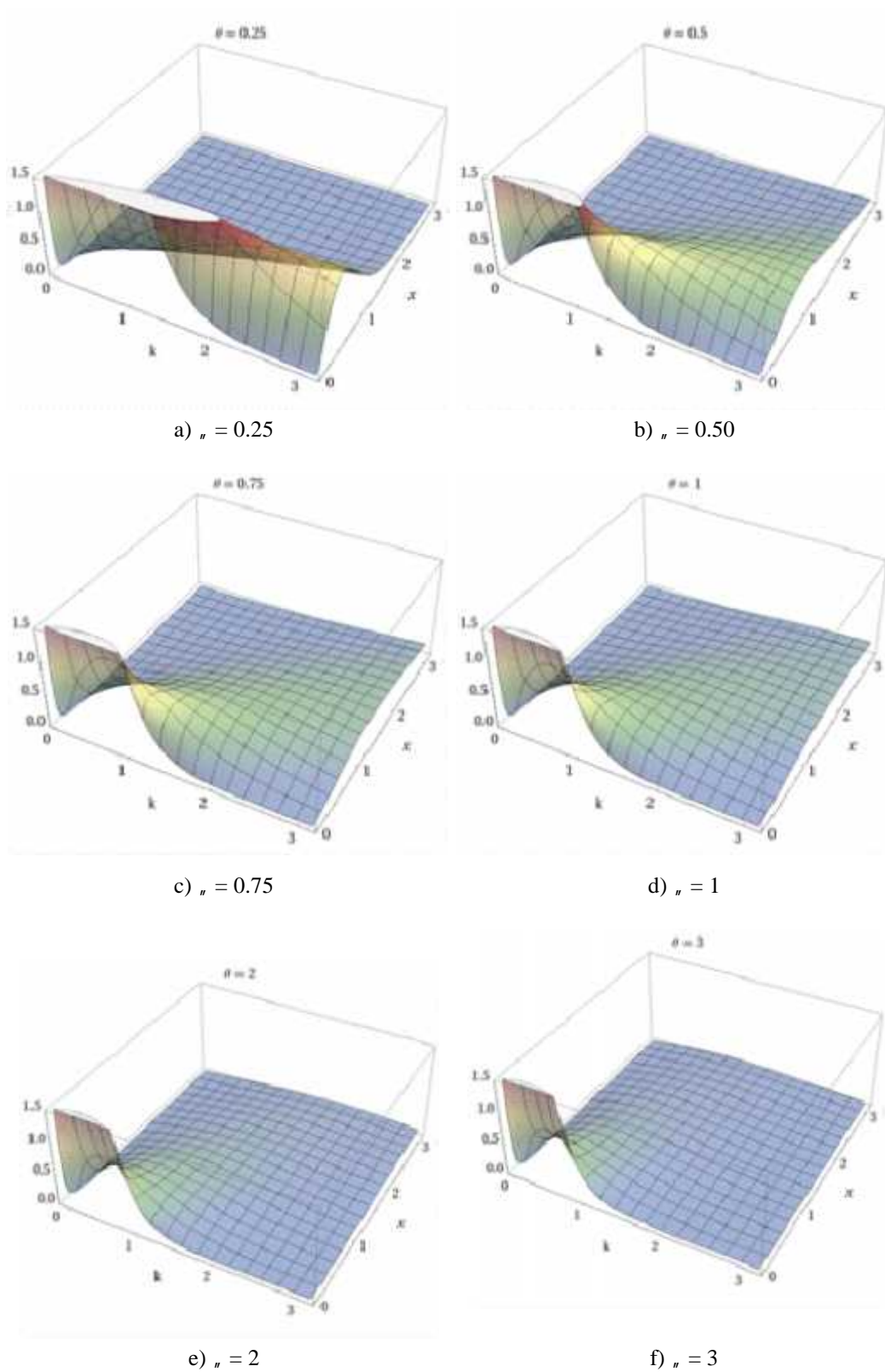
Pada penyusunan model HSS ini, persamaan kurva hidrograf didasarkan pada Distribusi Gamma. Dalam teori statistik dan kemungkinan, Distribusi Gamma merupakan bagian dari distribusi probabilitas kontinu 2 parameter. Model distribusi ini banyak digunakan untuk berbagai aplikasi terapan. Sebagaimana telah disampaikan pada bab sebelumnya pada kebanyakan kasus Distribusi Gamma memberikan hasil yang paling memuaskan dibandingkan dengan distribusi probabilitas lainnya (Ghorbani et al, 2013) terutama Distribusi Gamma 2 parameter (2PGDF). Oleh karenanya banyak metode-metode HSS dikembangkan berdasarkan Distribusi Gamma seperti HSS Nash oleh Nash Tahun 1957 (Bhunya et al., 2003) dan HS H2U oleh Duchesne and Cudennec Tahun 1998 (Sumarjo et al., 1999 dan Fleurant et al., 2003). Distribusi Gamma 2 Parameter dinyatakan dengan :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\theta^k \Gamma(k)} x^{k-1} e^{-\frac{x}{\theta}} & x > 0 \\ 0 & \text{untuk } x \text{ lainnya} \end{cases} \quad (5.14)$$

(k) menyatakan fungsi Gamma, k merupakan parameter bentuk dan θ adalah parameter skala. Kombinasi dari 2 parameter tersebut menghasilkan grafik distribusi seperti Gambar 5.13a (k konstan) dan Gambar 5.13b (θ konstan) berikut ini:



Gambar 5.13 Kurva Distribusi Gamma untuk berbagai parameter k dan θ



Gambar 5.14 Kurva 3D Distribusi Gamma untuk berbagai parameter k dan θ (Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_distribution)

Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.14 poin a-f, untuk parameter k konstan, semakin besar nilai parameter n , maka puncak kurva semakin menurun dan tumpul dan sebaliknya. Untuk parameter n konstan, semakin besar nilai parameter k maka puncak kurva juga semakin menurun dan tumpul, demikian sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa peran kedua parameter memiliki kecenderungan yang sama dalam menentukan bentuk kurva distribusi.

Penggunaan Distribusi Gamma 2 Parameter untuk menyatakan bentuk hidrograf diinisiasi oleh Edson (1951, dalam Singh, 2000), selanjutnya Nash dan Dooge (1959) mentransformasi persamaan tersebut menjadi persamaan hidrograf satuan sesaat (*the instantaneous unit hydrograph*) dalam bentuk (Ghorbani et al, 2013):

$$q(t) = \frac{1}{K\Gamma(n)} \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} e^{-\left(\frac{t}{K}\right)} \quad (5.15)$$

n menyatakan jumlah reservoir linier (faktor bentuk) dan K menyatakan koefisien tampungan DAS (faktor skala), q =kedalaman limpasan (hujan) per satuan waktu.

$\Gamma(n) = (n - 1)!$. Persamaan ini sangat identik dengan Persamaan Distribusi Gamma.

Bila persamaan Distribusi Gamma tersebut disederhanakan dengan memodifikasi parameter:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma_2} x^{\Gamma_2 - 1} e^{-ax} \quad (5.16)$$

Γ_2 dan \tilde{S}_3 berfungsi mengontrol bentuk kurva dan dapat digantikan dengan sebuah koefisien pangkat yang mewakili seluruh persamaan sebagaimana dilakukan pada Model HSS ITB-1, maka persamaan tersebut menjadi sebuah persamaan dengan bentuk lain seperti berikut ini:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma_2} x^{\Gamma_2 - 1} e^{-ax} \quad (5.17)$$

Penyederhanaan 2 parameter menjadi 1 parameter dapat dilakukan mengingat dalam praktek seperti pada HSS ITS-1, parameter S dan x harus memiliki nilai yang hampir sama dan bila kedua nilai parameter tersebut memiliki selisih yang besar maka kejadian debit puncak akan bergeser dari waktu puncak. Demikian pula pada Persamaan 5.17 jika digambarkan menjadi kurva hidrograf akan berlaku mirip dengan HSS ITS-1. Kedua parameter itu saling mempengaruhi bentuk

hidrograf pada sisi naik dan sisi turun. Oleh karena itu agar terjadi kesetimbangan pada debit puncak dan waktu puncak, maka kedua parameter itu tidak boleh memiliki perbedaan yang besar.

Apabila dianalogikan (transformasi) menjadi persamaan kurva hidrograf, Persamaan 5.17 menjadi:

$$q(t) = \frac{Q_p}{\Gamma} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} e^{-\frac{t}{T_p}} \quad (5.18)$$

Jika dinyatakan sebagai HSS tak berdimensi, dengan $q(t) = \frac{Q(t)}{Q_p}$ dan $t = \frac{T}{T_p}$, maka

Persamaan 5.18 menjadi:

$$q(t) = \frac{Q_p}{Q_p} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} e^{-\frac{t}{T_p}} \quad (5.19)$$

$$q(t) = \frac{Q_p}{Q_p} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} e^{-\frac{t}{T_p}} \quad (5.20)$$

$$q(t) = \frac{Q_p}{Q_p} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \quad (5.20)$$

Γ merupakan suatu bilangan yang berperan mengontrol agar Q_p selalu terjadi pada saat T_p . Dengan cara penguraian sederhana:

$$1 = \left\{ \frac{Q_p}{Q_p} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \right\}_{t=T_p} \quad (5.21)$$

$$1 = \frac{Q_p}{Q_p} \left(\frac{T_p}{T_p} \right)^{\Gamma-1} \exp\left(-\frac{T_p}{T_p}\right) \quad (5.22)$$

$$\Gamma = \frac{1}{\ln(2)} \quad (5.23)$$

Dengan demikian bentuk persamaan akhir hidrograf dengan menyeragamkan simbol koefisien menjadi:

$$q(t) = \left\{ \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \exp\left(\frac{t}{T_p}\right) \right\} \quad (5.24)$$

$$q(t) = \left\{ \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \exp\left(\frac{t}{T_p}\right) \right\} \quad (5.25)$$

$$q(t) = \left\{ \left(\frac{t}{T_p} \right)^{\Gamma-1} \exp\left(1 - \frac{t}{T_p}\right) \right\} \quad (5.25)$$

dimana C_3 merupakan koefisien yang bersesuaian dengan faktor bentuk hidrograf. Persamaan ini memiliki bentuk yang lebih sederhana dari Persamaan Kurva Snyder-Alexejev, HSS ITS-1 dan ITB-1, dituliskan kembali berturut-turut seperti berikut ini:

$$q(t) = 10 \frac{-(1.32\lambda^2 + 0.15\lambda + 0.045) \left\{ 1 - \left(\frac{t}{T_p} \right) \right\}}{\left(\frac{t}{T_p} \right)} \quad \text{Snyder-Alexejev} \quad (5.26a)$$

$$q(t) = \left(\frac{t}{T_p}\right)^\alpha \exp\left[\frac{2}{\gamma} \left\{1 - \left(\frac{t}{T_p}\right)^\beta\right\}^\beta\right] \quad \text{HSS ITS-1} \quad (5.26b)$$

$$q(t) = \exp\left\{2 - \left(\frac{t}{T_p}\right) - \left(\frac{1}{T_p}\right)\right\} \quad \text{ITB-1} \quad (5.26c)$$

Selain itu persamaan baru yang dihasilkan dapat mengatasi kelemahan persamaan kurva ITB-1 pada $T=0$ serta menyederhanakan koefisien pada HSS ITS-1 dimana parameter α dapat dinyatakan sebagai bilangan konstan yaitu 2 (jika $r \neq 2$ maka kejadian debit puncak tidak bersesuaian dengan waktu puncak), dan parameter s dan γ dapat diganti menjadi parameter yang sama (jika parameter s dan x memiliki perbedaan yang besar maka kejadian debit puncak tidak bersesuaian dengan waktu puncak). Jika ketiga parameter ini dioptimasi misalnya menggunakan Solver, maka nilai optimal dari ketiga parameter tersebut adalah $r=2$ dan $s = x$.

5.2.6 Persamaan Akhir HSS

Bentuk persamaan akhir dari ketiga parameter utama HSS meliputi T_p , T_b dan Q_p adalah seperti berikut ini, dimana untuk persamaan T_p dan T_b dikalikan dengan suatu koefisien yang akan digunakan untuk mengkalibrasi model. Apabila kalibrasi tidak dapat dilakukan akibat data pengamatan tidak tersedia, maka koefisien tersebut dapat ditetapkan = 1.

$$T_p = C_1 \left(\frac{Q_p}{A}\right)^{0.524} \quad (5.27)$$

$$T_b = C_2 \left(\frac{Q_p}{A}\right)^{1.15} \quad (5.28)$$

$$T_p = \frac{0.13 C_1}{C_2} \frac{A}{Q_p} \quad (5.29)$$

$$Q_p = \frac{R_0^{0.524} A}{3.67 T_p^{0.524}} \quad (5.30)$$

$$q(t) = \left\{ \left(\frac{t}{T_p}\right)^\alpha \exp\left(1 - \left(\frac{t}{T_p}\right)\right) \right\}^{C_3}$$

C_1 adalah koefisien waktu puncak, C_2 =koefisien waktu dasar dan C_3 =koefisien yang bersesuaian dengan faktor bentuk hidrograf. Sebagai kelanjutan dari **HSS ITS-1** yang dikembangkan oleh Lasidi (2003) di **Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)**, HSS yang dikembangkan dari **kombinasi karakteristik fraktal dan morfometri DAS** ini dinyatakan (dinamakan) sebagai **HSS ITS-2**.

5.3 Validasi

Validasi model dilakukan dengan menguji model HSS terpilih menggunakan data hujan-banjir di 8 DAS pada kejadian-kejadian banjir lainnya dengan mengevaluasi penyimpangan parameter pokok hidrograf dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kehandalan model dalam memprediksi parameter model HSS. Mengingat bahwa dari delapan DAS yang digunakan sebagai penyusun model, hanya 3 buah DAS yang memiliki data pengamatan untuk kebutuhan validasi (Tahun 2015) yakni DAS Pinamula, DAS Toaya dan DAS Malino, maka validasi model hanya didasarkan pada ketiga DAS tersebut. Berikut disajikan kembali data karakteristik ketiga DAS tersebut, seperti pada Tabel 5.13.

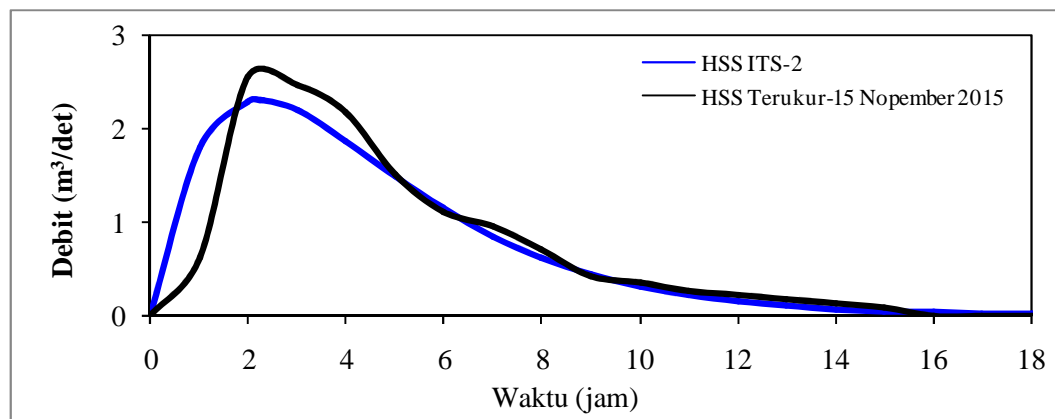
Tabel 5.13 Karakteristik DAS untuk validasi

No.	Parameter	DAS Pinamula	DAS Toaya	DAS Malino
1	Luas DAS (A, km^2)	49.35	65.51	128.75
2	Panjang Sungai Utama (L, km)	15636.3	21817.1	19192.5
3	Kemiringan Sungai Utama (S)	0.03422	0.06532	0.10812
4	Kerapatan Jaringan Sungai ($D, km/km^2$)	1.24	1.36	1.60
5	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	1.68	1.62	3.38
6	Rasio Panjang Sungai (R_L)	1.03	1.09	1.04
7	Rasio Luas DAS (R_A)	7.67	5.46	4.62
8	Faktor Bentuk (F_b)	0.39	0.21	0.49

Berdasarkan data karakteristik DAS seperti pada Tabel 5.13, menggunakan model HSS tersusun selanjutnya dapat dihitung hidrograf satuan sintetik pada masing-masing DAS dan ordinat hidrograf satuan sintetik dapat dibandingkan dengan ordinat hidrograf satuan terukur sehingga dapat diamati kesesuaian kurva hidrografnya. Hasil perhitungan hidrograf satuan sintetik pada 3 DAS disajikan pada Tabel 5.14, Tabel 5. 15 dan Tabel 5.16, dan kurva hidrograf satuan sintetik diperlihatkan pada Gambar 5.15, Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 dengan menampilkan kurva hidrograf satuan terukur secara bersamaan pada kurva yang sama.

Tabel 5.14 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Pinamula tanggal 15 Nopember 2015

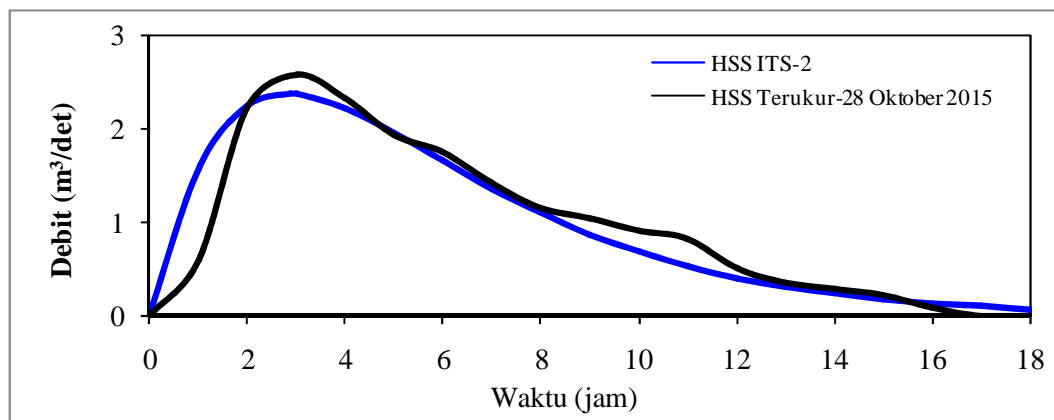
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.45	0.78	0.17	1.78	3212.677
3	2	0.90	0.99	0.40	2.28	7318.061
4	2.23	1.00	1.00	0.10	2.29	1913.592
5	3	1.34	0.95	0.34	2.19	6190.074
6	4	1.79	0.81	0.40	1.86	7286.559
7	5	2.24	0.65	0.33	1.49	6029.044
8	6	2.69	0.50	0.26	1.14	4729.685
9	7	3.14	0.37	0.19	0.85	3582.639
10	8	3.58	0.27	0.14	0.62	2647.310
11	9	4.03	0.19	0.10	0.45	1920.349
12	10	4.48	0.14	0.07	0.32	1373.224
13	11	4.93	0.10	0.05	0.22	970.842
14	12	5.38	0.07	0.04	0.16	680.008
15	13	5.82	0.05	0.03	0.11	472.627
16	14	6.27	0.03	0.02	0.07	326.351
17	15	6.72	0.02	0.01	0.05	224.090
18	16	7.17	0.02	0.01	0.03	153.129
19	17	7.62	0.01	0.01	0.02	104.197
20	18	8.06	0.01	0.00	0.02	70.637
21	19	8.51	0.00	0.00	0.01	47.728
22	20	8.96	0.00	0.00	0.01	32.153
23	21	9.41	0.00	0.00	0.00	21.603
24	22	9.85	0.00	0.00	0.00	14.480
25	23	10.30	0.00	0.00	0.00	9.684
Jumlah				2.68		49350.00
Luas DAS (m ²)						49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.15 Kurva HSS ITS-2 di DAS Pinamula tanggal 15 Nopember 2015

Tabel 5.15 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Toaya tanggal 28 Oktober 2015

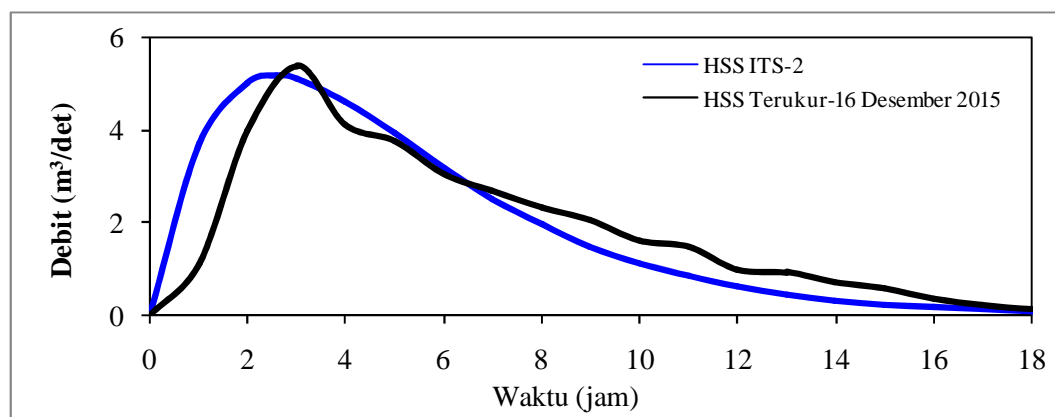
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.35	0.67	0.12	1.58	2849.395
3	2	0.70	0.94	0.28	2.23	6866.895
4	2.86	1.00	1.00	0.29	2.36	7116.649
5	3	1.05	1.00	0.05	2.36	1186.313
6	4	1.40	0.94	0.34	2.22	8241.654
7	5	1.75	0.83	0.31	1.95	7512.273
8	6	2.10	0.70	0.27	1.65	6495.909
9	7	2.45	0.58	0.22	1.36	5425.382
10	8	2.80	0.46	0.18	1.10	4421.116
11	9	3.15	0.37	0.15	0.87	3537.192
12	10	3.50	0.29	0.11	0.68	2790.014
13	11	3.85	0.22	0.09	0.53	2175.831
14	12	4.20	0.17	0.07	0.41	1681.205
15	13	4.54	0.13	0.05	0.31	1289.049
16	14	4.89	0.10	0.04	0.24	981.952
17	15	5.24	0.08	0.03	0.18	743.860
18	16	5.59	0.06	0.02	0.13	560.785
19	17	5.94	0.04	0.02	0.10	420.988
20	18	6.29	0.03	0.01	0.07	314.867
21	19	6.64	0.02	0.01	0.06	234.720
22	20	6.99	0.02	0.01	0.04	174.458
23	21	7.34	0.01	0.01	0.03	129.324
24	22	7.69	0.01	0.00	0.02	95.636
25	23	8.04	0.01	0.00	0.02	70.570
Jumlah				2.69		65510.00
Luas DAS (m ²)						65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



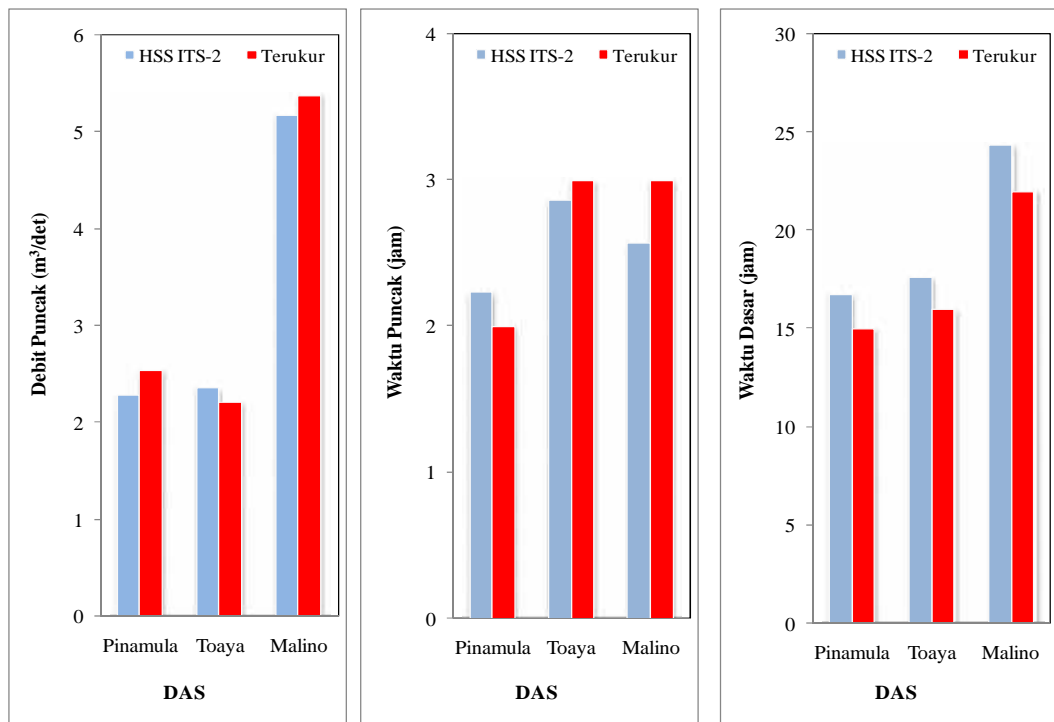
Gambar 5.16 Kurva HSS ITS-2 di DAS Toaya tanggal 28 Oktober 2015

Tabel 5.16 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Malino tanggal 16 Desember 2015

No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.39	0.72	0.14	3.70	6666.363
3	2	0.78	0.97	0.33	5.02	15705.615
4	2.57	1.00	1.00	0.22	5.17	10513.355
5	3	1.17	0.99	0.16	5.11	7898.742
6	4	1.55	0.89	0.37	4.62	17502.353
7	5	1.94	0.76	0.32	3.91	15352.051
8	6	2.33	0.62	0.27	3.18	12771.653
9	7	2.72	0.49	0.21	2.52	10261.150
10	8	3.11	0.38	0.17	1.95	8043.113
11	9	3.50	0.29	0.13	1.49	6189.520
12	10	3.89	0.22	0.10	1.12	4695.662
13	11	4.28	0.16	0.07	0.84	3522.069
14	12	4.66	0.12	0.05	0.62	2617.387
15	13	5.05	0.09	0.04	0.45	1930.127
16	14	5.44	0.06	0.03	0.33	1414.073
17	15	5.83	0.05	0.02	0.24	1030.229
18	16	6.22	0.03	0.02	0.17	746.961
19	17	6.61	0.02	0.01	0.13	539.296
20	18	7.00	0.02	0.01	0.09	387.918
21	19	7.38	0.01	0.01	0.06	278.110
22	20	7.77	0.01	0.00	0.05	198.797
23	21	8.16	0.01	0.00	0.03	141.725
24	22	8.55	0.00	0.00	0.02	100.795
25	23	8.94	0.00	0.00	0.02	71.529
Jumlah				2.69		128750.00
Luas DAS (m ²)						128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.17 Kurva HSS ITS-2 di DAS Malino tanggal 16 Desember 2015

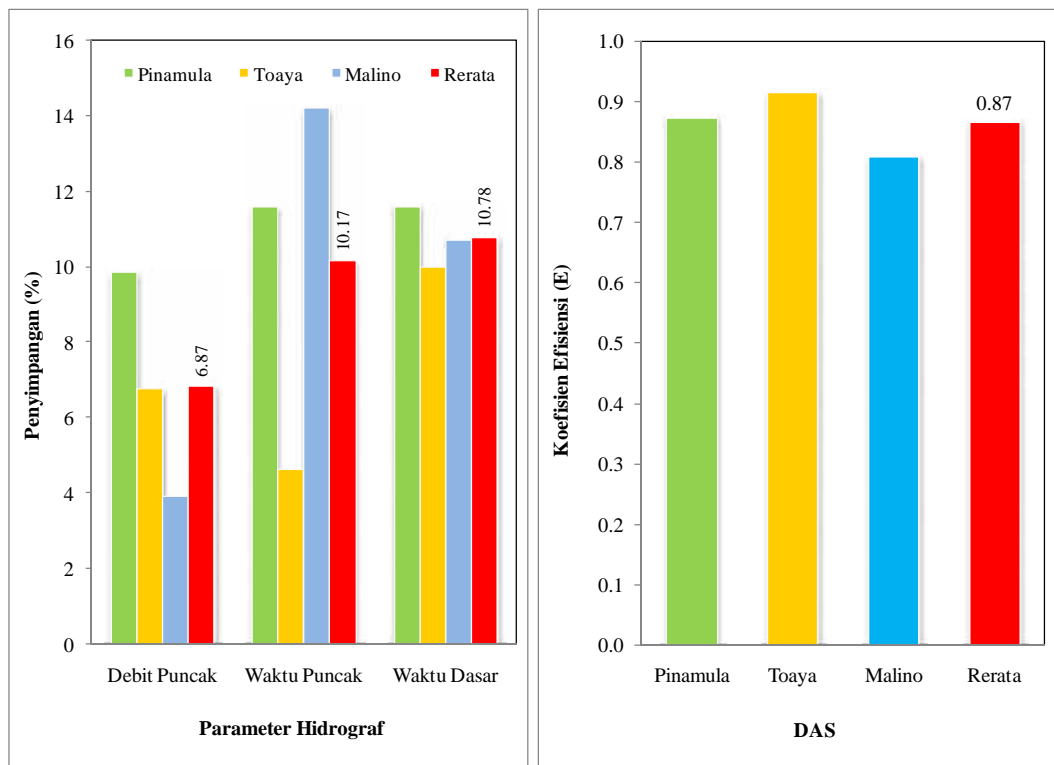


a) Debit puncak (Q_p)

b) Waktu puncak (T_p)

c) Waktu dasar (T_b)

Gambar 5.18 Perbandingan parameter hidrograf untuk validasi



a) Parameter pokok hidrograf

b) Koefisien efisiensi (E)

Gambar 5.19 Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan validasi

Hasil validasi menunjukkan bahwa kurva hidrograf satuan sintetik relatif sangat mirip dengan kurva hidrograf satuan terukur pada masing-masing DAS yang dievaluasi baik pada sisi naik, puncak maupun sisi resesi. Bila evaluasi lebih rinci, hasil verifikasi model dapat diukur melalui kinerja model dalam bentuk penyimpangan parameter pokok hidrograf dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) sebagaimana telah disampaikan sebelumnya. Perbandingan dan penyimpangan parameter hidrograf serta Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) disajikan pada Gambar 5.18 poin a-c, Gambar 5.19 poin a-b dan Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan hasil validasi pada DAS Pinamula, Toaya dan Malino.

No.	Nama DAS	Penyimpangan Paramater (%)			Koefisien Efisiensi Model Nash – Sutcliffe (E)
		Debit Puncak	Waktu Puncak	Waktu Dasar	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Pinamula	9.87	11.62	11.60	0.87
2	Toaya	6.80	4.65	10.00	0.92
3	Malino	3.93	14.23	10.73	0.81
	Rerata	6.87	10.17	10.78	0.87

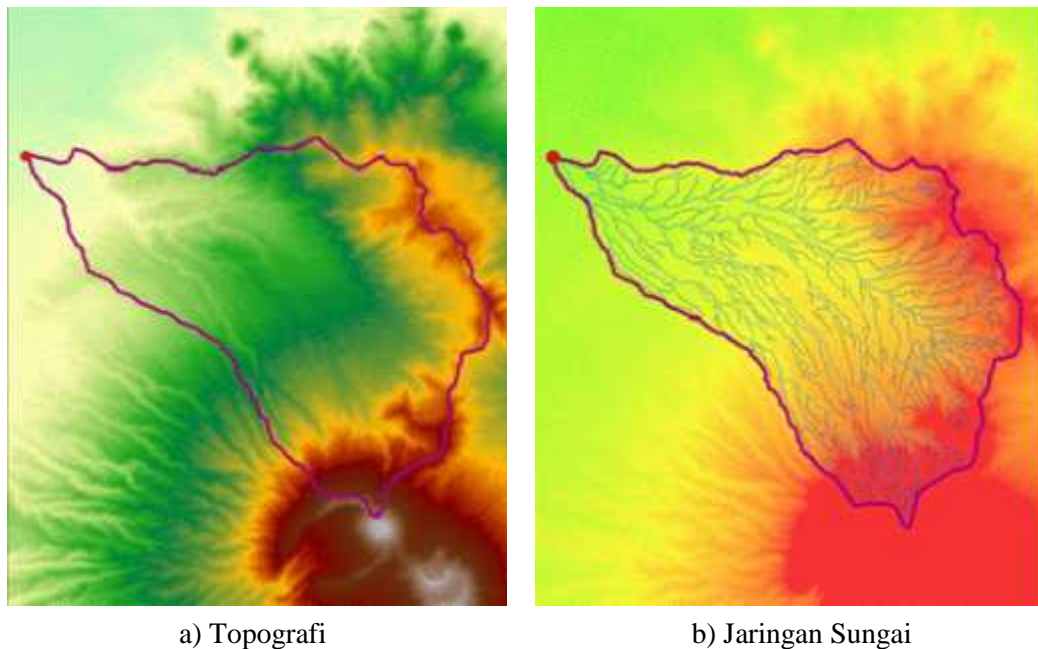
Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.19 dan Tabel 5.17, semua parameter pokok hidrograf yang dievaluasi mempunyai kinerja yang sangat baik. Penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata di bawah 20% dengan perincian penyimpangan debit puncak rata-rata sebesar 6.87%, penyimpangan waktu puncak rata-rata sebesar 10.17%, dan penyimpangan waktu dasar rata-rata sebesar 10.78%. Selain itu hasil hitungan juga menunjukkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) pada ketiga DAS relatif sangat tinggi dengan nilai rata-rata sebesar 87%, yang memperlihatkan kinerja yang baik

5.4 Verifikasi

Verifikasi model bertujuan untuk mengetahui keberlakuan model HSS di DAS lain. Verifikasi model dilakukan dengan menguji Model HSS terpilih menggunakan data hujan-banjir pada DAS di daerah lain. Data yang digunakan untuk verifikasi adalah data DAS di Pulau Jawa dan Bali, meliputi DAS Ciliwung Hulu, DAS Cicatih dan DAS Badung.

5.4.1 DAS Ciliwung Hulu

DAS Ciliwung Hulu berada di wilayah administrasi Kabupaten dan Kota Bogor Propinsi Jawa Barat pada koordinat geografis $106^{\circ}35'00''\text{E}$ – $109^{\circ}03'00''\text{E}$ dan $06^{\circ}02'00''\text{S}$ – $06^{\circ}55'00''\text{S}$. DAS ini meliputi wilayah seluas 146 km^2 berada pada ketinggian antara 300 –3000 meter DPL, dengan *outlet* (stasiun hidrometri) di Desa Katulampa pada koordinat $106^{\circ}50'20''\text{E}$ dan $06^{\circ}38'39''\text{S}$ (Bejo Slamet, 2006). DAS Ciliwung Hulu merupakan DAS dengan jaringan sungai berkerapatan rendah, berorde 5 (Gambar 5.20 poin a-b) dengan karakteristik tersaji pada Tabel 5.18. Hasil perhitungan hidrograf satuan disajikan pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.21.



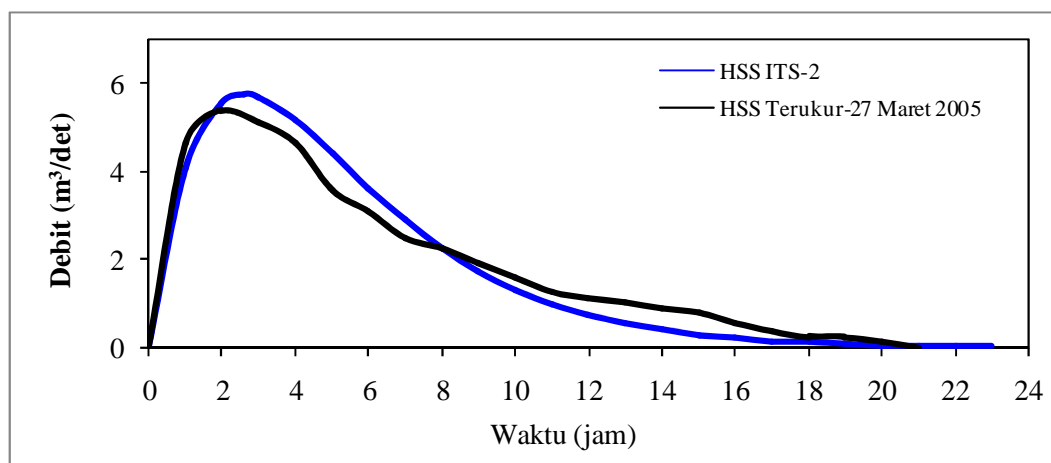
Gambar 5.20 DAS Ciliwung Hulu

Tabel 5.18 Karakteristik DAS Ciliwung Hulu

No.	Parameter	=		
1	Luas DAS (A)	=	146	km^2
2	Panjang Sungai Utama (L)	=	27.25	km
3	Kemiringan Sungai Utama (S)	=	0.06238	m/m
4	Kerapatan Jaringan Sungai (D)	=	1.86	km/km^2
5	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	=	2.8	
6	Rasio Panjang Sungai (R_L)	=	2.1	
7	Rasio Luas DAS (R_A)	=	1.42	
8	Faktor Bentuk (F_b)	=	0.34	

Tabel 5.19 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Ciliwung Hulu

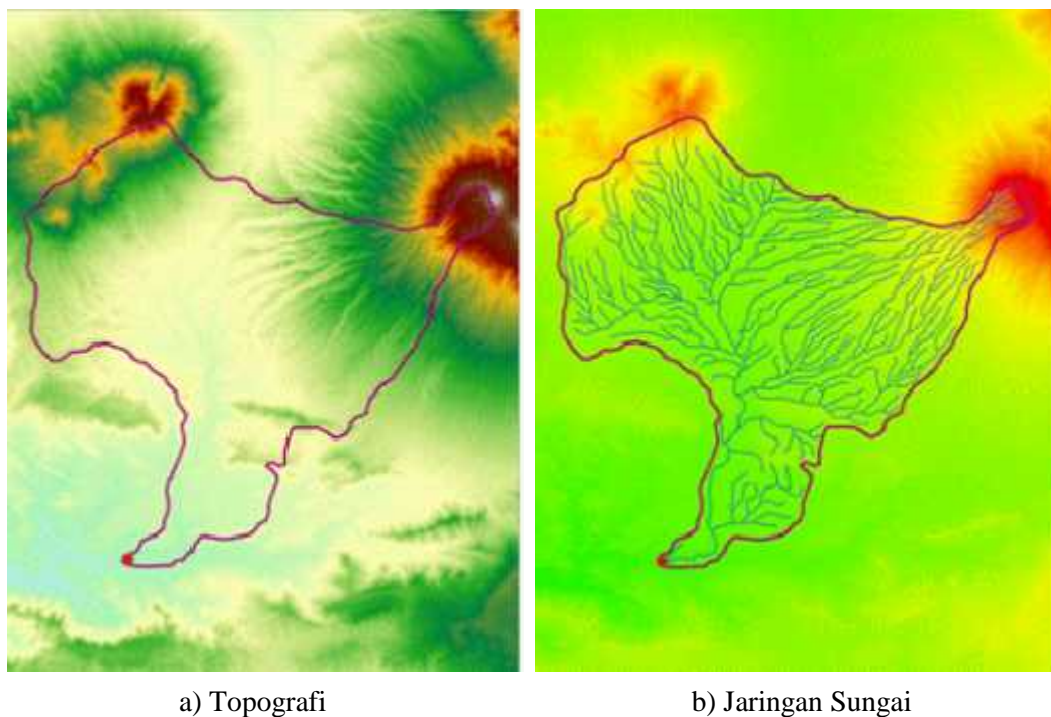
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.38	0.71	0.14	4.08	7349.541
3	2	0.76	0.97	0.32	5.57	17381.561
4	2.62	1.00	1.00	0.23	5.76	12604.284
5	3	1.15	0.99	0.15	5.71	7889.288
6	4	1.53	0.90	0.36	5.19	19615.937
7	5	1.91	0.77	0.32	4.43	17318.783
8	6	2.29	0.63	0.27	3.63	14502.858
9	7	2.67	0.50	0.22	2.89	11729.166
10	8	3.06	0.39	0.17	2.25	9254.764
11	9	3.44	0.30	0.13	1.73	7169.216
12	10	3.82	0.23	0.10	1.31	5475.041
13	11	4.20	0.17	0.08	0.98	4133.957
14	12	4.58	0.13	0.06	0.73	3092.538
15	13	4.97	0.09	0.04	0.54	2295.687
16	14	5.35	0.07	0.03	0.40	1693.087
17	15	5.73	0.05	0.02	0.29	1241.716
18	16	6.11	0.04	0.02	0.21	906.291
19	17	6.49	0.03	0.01	0.15	658.687
20	18	6.88	0.02	0.01	0.11	476.952
21	19	7.26	0.01	0.01	0.08	344.218
22	20	7.64	0.01	0.00	0.06	247.690
23	21	8.02	0.01	0.00	0.04	177.758
24	22	8.40	0.01	0.00	0.03	127.264
25	23	8.79	0.00	0.00	0.02	90.914
Jumlah				2.69		146000.00
Luas DAS (m ²)						146000000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.21 Kurva HSS ITS-2 di DAS Ciliwung Hulu

5.4.2 DAS Cicatih

DAS Cicatih merupakan sub DAS Cimandiri dengan luas 530 km², terletak pada koordinat geografis 106°38'09"E–106°57'30"E dan 06°42'54"S–07°00'43"S (Jonsen, 2006). DAS Cicatih merupakan bagian dari WS Cisadea – Cibareno sebagai sub DAS Citarik dan secara administratif berada di wilayah Kabupaten Sukabumi Propinsi Jawa Barat. DAS Cicatih merupakan berorde 5 (Gambar 5.22 poin a-b) dengan karakteristik seperti pada Tabel 5.20 dan hasil hitungan tersaji pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.23..



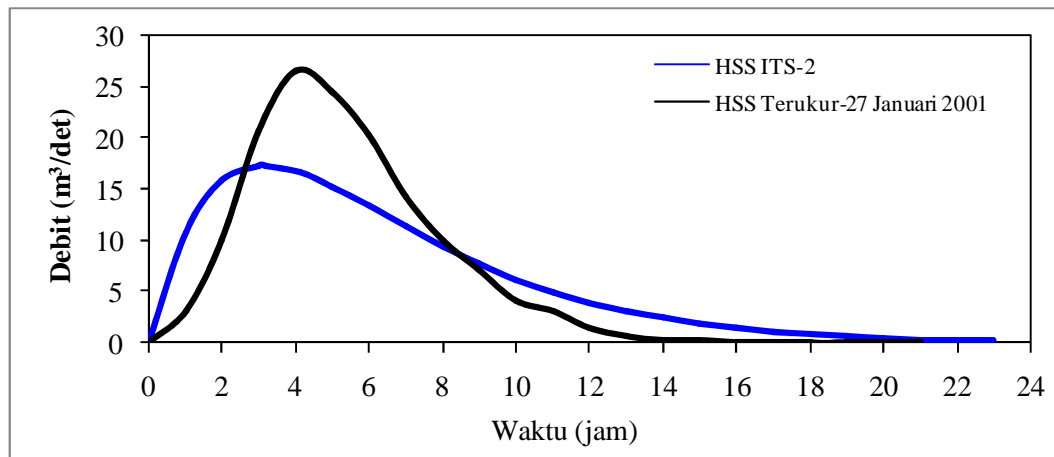
Gambar 5.22 DAS Cicatih

Tabel 5.20 Karakteristik DAS Cicatih

No.	Parameter			
1	Luas DAS (A)	=	530	km ²
2	Panjang Sungai Utama (L)	=	33.70	km
3	Kemiringan Sungai Utama (S)	=	0.04272	m/m
4	Kerapatan Jaringan Sungai (D)	=	1.98	km/km ²
5	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	=	2.5	
6	Rasio Panjang Sungai (R_L)	=	2.3	
7	Rasio Luas DAS (R_A)	=	1.2	
8	Faktor Bentuk (F_b)	=	0.45	

Tabel 5.21 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Cicatih

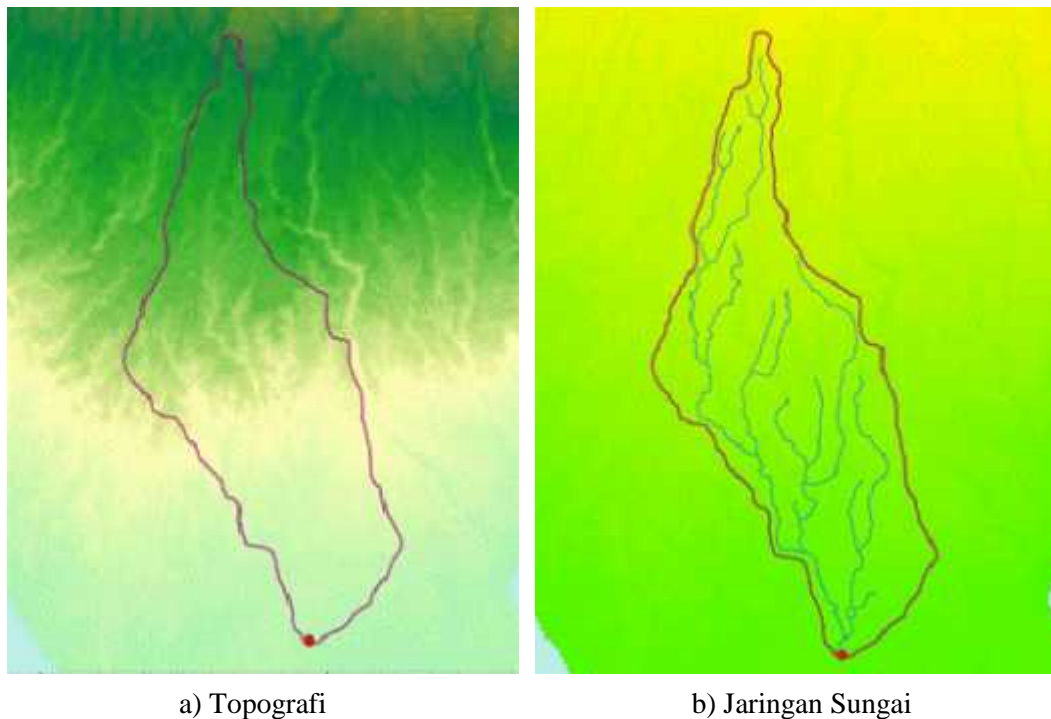
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.32	0.63	0.10	10.88	19586.812
3	2	0.63	0.91	0.24	15.85	48109.173
4	3	0.95	1.00	0.30	17.31	59673.109
5	3.15	1.00	1.00	0.05	17.33	9350.801
6	4	1.32	0.96	0.31	16.62	61104.775
7	5	1.59	0.88	0.25	15.29	48824.134
8	6	1.90	0.77	0.26	13.36	51571.019
9	7	2.22	0.65	0.23	11.35	44475.064
10	8	2.54	0.55	0.19	9.44	37425.281
11	9	2.86	0.45	0.16	7.74	30921.158
12	10	3.17	0.36	0.13	6.26	25187.149
13	11	3.49	0.29	0.10	5.01	20285.311
14	12	3.81	0.23	0.08	3.98	16187.021
15	13	4.13	0.18	0.07	3.14	12817.700
16	14	4.44	0.14	0.05	2.46	10083.917
17	15	4.76	0.11	0.04	1.92	7889.160
18	16	5.08	0.09	0.03	1.49	6142.413
19	17	5.39	0.07	0.02	1.15	4762.306
20	18	5.71	0.05	0.02	0.89	3678.595
21	19	6.03	0.04	0.01	0.68	2832.131
22	20	6.35	0.03	0.01	0.52	2174.018
23	21	6.66	0.02	0.01	0.40	1664.408
24	22	6.98	0.02	0.01	0.31	1271.200
25	23	7.30	0.01	0.00	0.23	968.770
Jumlah				2.70		530000.00
Luas DAS (m ²)						530000000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.23 Kurva HSS ITS-2 di DAS Cicatih

5.4.3 DAS Badung

DAS Badung berada di dua wilayah administratif yaitu bagian hulu Kabupaten Badung dan bagian hilir Kota Denpasar. Sungai Badung dengan panjang alur utama 25.17 km mempunyai anak-anak sungai yaitu Sungai Tag-tag dan Sungai Medih. DAS ini terletak pada koordinat geografis $115^{\circ}10'00''\text{E}$ – $115^{\circ}20'00''\text{E}$ dan $08^{\circ}30'00''\text{S}$ – $08^{\circ}50'00''\text{S}$ (Suardana, 2004). DAS Badung merupakan bagian dari WS Bali–Penida. Karakteristik DAS Badung disajikan pada Gambar 5.24 poin a-b dan Tabel 5.22 dan hasil hitungan ditampilkan pada Tabel 5.23 dan Gambar 5.25.



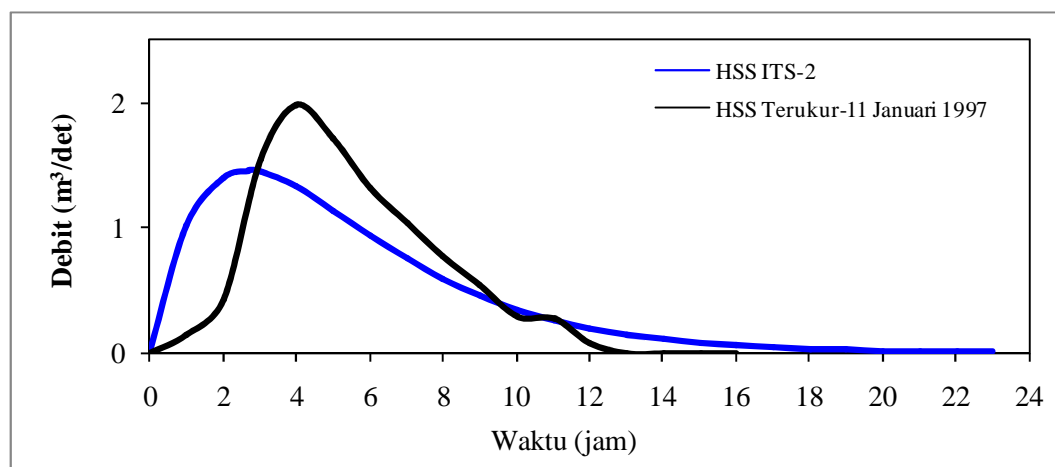
Gambar 5.24 DAS Badung

Tabel 5.22 Karakteristik DAS Badung

No.	Parameter	=		
1	Luas DAS (A)	=	37.70	km^2
2	Panjang Sungai Utama (L)	=	25.17	km
3	Kemiringan Sungai Utama (S)	=	0.02642	m/m
4	Kerapatan Jaringan Sungai (D)	=	0.56	km/km^2
5	Rasio Percabangan Sungai (R_B)	=	2.75	
6	Rasio Panjang Sungai (R_L)	=	1.9	
7	Rasio Luas DAS (R_A)	=	3.21	
8	Faktor Bentuk (F_b)	=	0.16	

Tabel 5.23 Hasil hitungan HSS ITS-2 di DAS Badung

No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.37	0.70	0.13	1.02	1840.093
3	2	0.75	0.96	0.31	1.41	4369.764
4	2.67	1.00	1.00	0.25	1.46	3442.409
5	3	1.12	0.99	0.12	1.45	1740.418
6	4	1.50	0.91	0.36	1.33	4998.715
7	5	1.87	0.78	0.32	1.14	4444.397
8	6	2.25	0.64	0.27	0.94	3748.122
9	7	2.62	0.52	0.22	0.75	3052.823
10	8	3.00	0.41	0.17	0.59	2425.940
11	9	3.37	0.31	0.14	0.46	1892.650
12	10	3.75	0.24	0.10	0.35	1455.702
13	11	4.12	0.18	0.08	0.26	1106.979
14	12	4.50	0.14	0.06	0.20	834.023
15	13	4.87	0.10	0.04	0.15	623.543
16	14	5.25	0.07	0.03	0.11	463.153
17	15	5.62	0.06	0.02	0.08	342.105
18	16	6.00	0.04	0.02	0.06	251.477
19	17	6.37	0.03	0.01	0.04	184.078
20	18	6.75	0.02	0.01	0.03	134.243
21	19	7.12	0.02	0.01	0.02	97.576
22	20	7.50	0.01	0.01	0.02	70.715
23	21	7.87	0.01	0.00	0.01	51.112
24	22	8.25	0.01	0.00	0.01	36.855
25	23	8.62	0.00	0.00	0.01	26.517
Jumlah				2.69		37700.00
Luas DAS (m ²)						37700000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



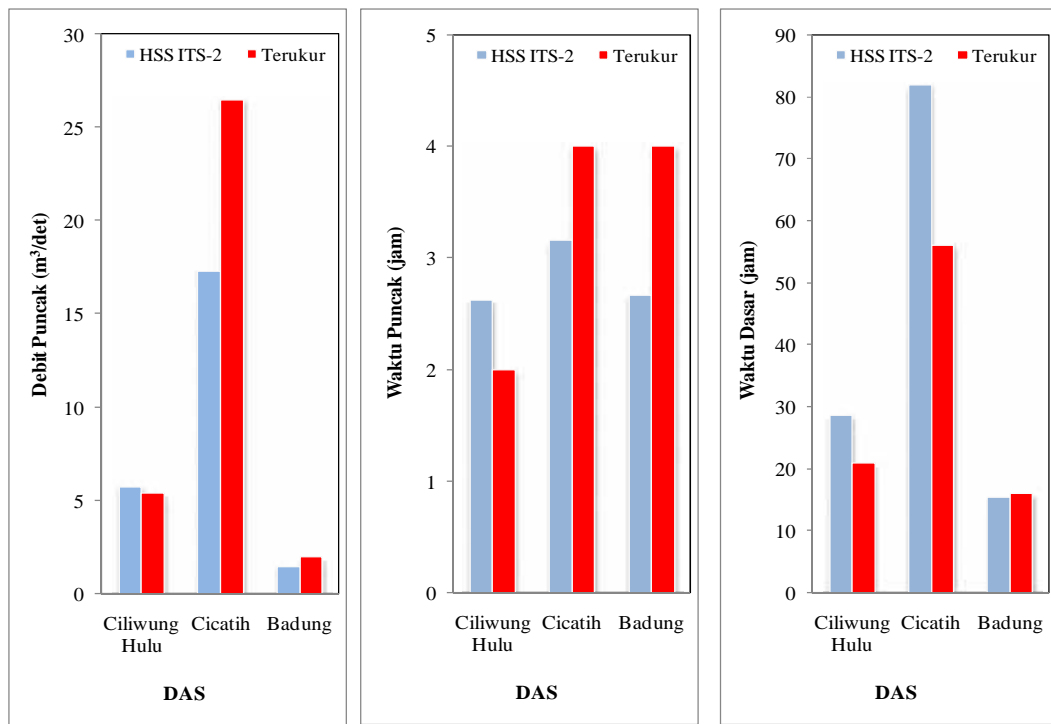
Gambar 5.25 Kurva HSS ITS-2 di DAS Badung

Sebagaimana diperlihatkan pada kurva hidrograf satuan terukur dan hidrograf satuan sintetik pada masing-masing DAS, tampak bahwa kurva hidrograf satuan sintetik relatif cenderung mempunyai kemiripan dengan kurva hidrograf satuan terukur. Kecenderungan kemiripan kurva terjadi secara bervariasi baik pada sisi naik, puncak maupun sisi resesi, walaupun terlihat adanya selisih antara kurva hidrograf satuan terukur dan kurva hidrograf satuan sintetik. Kesesuaian kurva tersebut dapat dievaluasi berdasarkan penyimpangan parameter pokok hidrograf dan koefisien E . Berikut disajikan perbandingan dan penyimpangan parameter hidrograf serta koefisien E pada masing-masing DAS (Tabel 5.24, Gambar 5.26 poin a-c dan Gambar 5.27 poin a-b)

Tabel 5.24 Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan hasil verifikasi pada DAS Ciliwung Hulu, Cicatih dan Badung

No.	Nama DAS	Penyimpangan Parameter (%)			Koefisien Efisiensi Model Nash – Sutcliffe (E)
		Debit Puncak	Waktu Puncak	Waktu Dasar	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Ciliwung Hulu	6.69	30.89	36.54	0.87
2	Cicatih	34.63	21.21	45.97	0.79
3	Badung	26.30	33.31	3.18	0.67
	Rerata	22.54	28.47	28.56	0.78

Memperhatikan kinerja model HSS seperti pada Tabel 5.24, tampak bahwa penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata <30% Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) relatif cukup baik (>0.7). Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus ini model HSS tersusun memiliki keberlakuan relatif masih cukup baik pada DAS lain di luar Provinsi Sulawesi Tengah. Namun demikian verifikasi perlu dilakukan dengan melibatkan jumlah DAS yang lebih banyak lagi baik DAS-DAS yang berada di wilayah yang sama terutama di Pulau Sulawesi maupun DAS-DAS di daerah lain di luar Pulau Sulawesi, dengan berbagai karakteristik morfometri dan parameter fraktal DAS serta pola distribusi hujan wilayah. Perlu ditegaskan kembali bahwa pola distribusi hujan sangat berperan dalam pembentukan kurva hidrograf, walaupun dalam penyusunan model sifat ini tidak dapat diakomodasi.

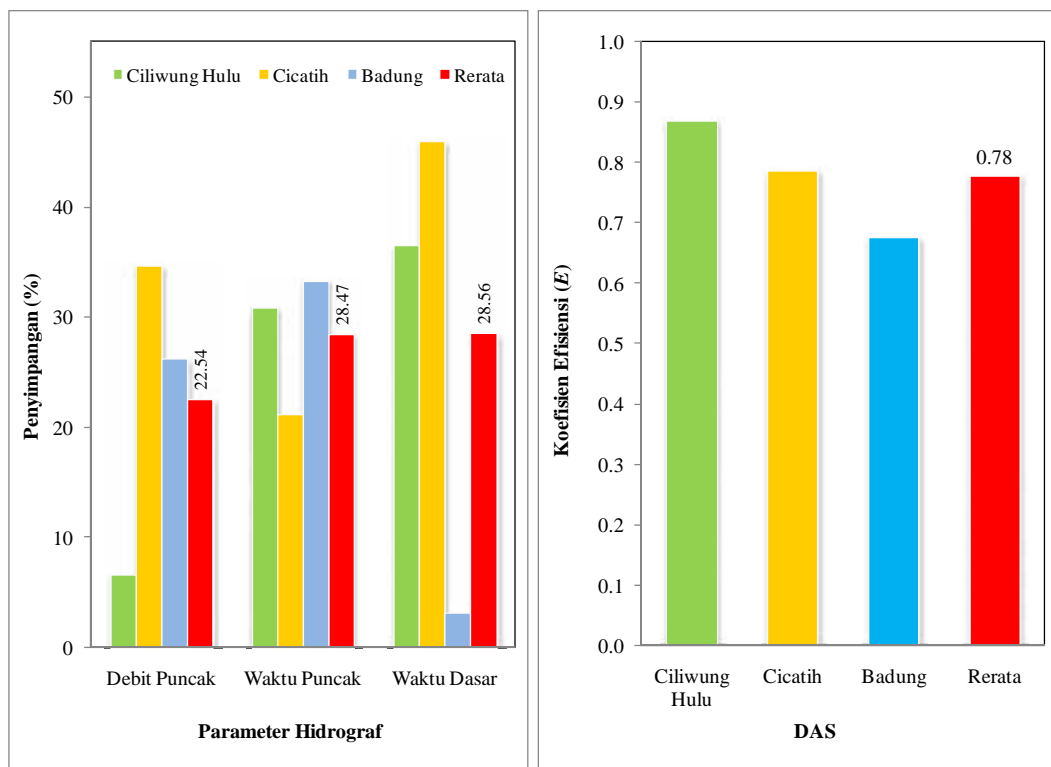


a) Debit puncak (Q_p)

b) Waktu puncak (T_p)

c) Waktu dasar (T_b)

Gambar 5.26 Perbandingan parameter hidrograf untuk verifikasi



a) Parameter pokok hidrograf

b) Koefisien efisiensi (E)

Gambar 5.27 Kinerja HSS ITS-2 berdasarkan verifikasi

5.5 Perbandingan Kinerja Model HSS

Perbandingan kinerja model dimaksudkan untuk mengetahui ketelitian dan penyimpangan model-model HSS yang telah dikembangkan sebelumnya baik di Indonesia maupun di luar negeri, meliputi HSS Snyder, Nakayasu, *Soil Conservation Service (SCS)*, GAMA I, ITS-1, Limantara, ITB-1, ITB-2 dan HSS ITS-2. Analisis perbandingan kinerja dilakukan dengan cara membandingkan penyimpangan masing-masing model HSS dengan Hidrograf Satuan Terukur (HST). Analisis penyimpangan dapat dilakukan dengan 2 cara yakni menguji penyimpangan parameter utama model HSS yang meliputi debit puncak (Q_p), waktu puncak (T_p) dan waktu dasar (T_b), dan menguji ketelitian model dengan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) berdasarkan koordinat kurva hidrograf satuan.

Untuk melakukan analisis kinerja model HSS, terlebih dahulu disajikan kembali parameter-parameter morfometri 8 DAS yang berhubungan dengan kebutuhan parameter yang digunakan oleh masing-masing model HSS. Terdapat 17 parameter DAS (Tabel 5.25) yang diperlukan untuk menghitung hidrograf satuan sintetik 8 DAS menggunakan 8 Model HSS sebagaimana tersebut sebelumnya. Secara umum model-model HSS tersebut menggunakan parameter DAS relatif sedikit terutama Model HSS Snyder, Nakayasu, *Soil Conservation Service (SCS)*, ITB-1 dan ITB-2 meliputi luas DAS dan panjang sungai utama (L) serta beberapa parameter DAS lainnya. Namun demikian beberapa Model HSS lainnya seperti HSS GAMA I, ITS-1 dan Limantara menggunakan parameter DAS yang lebih banyak.

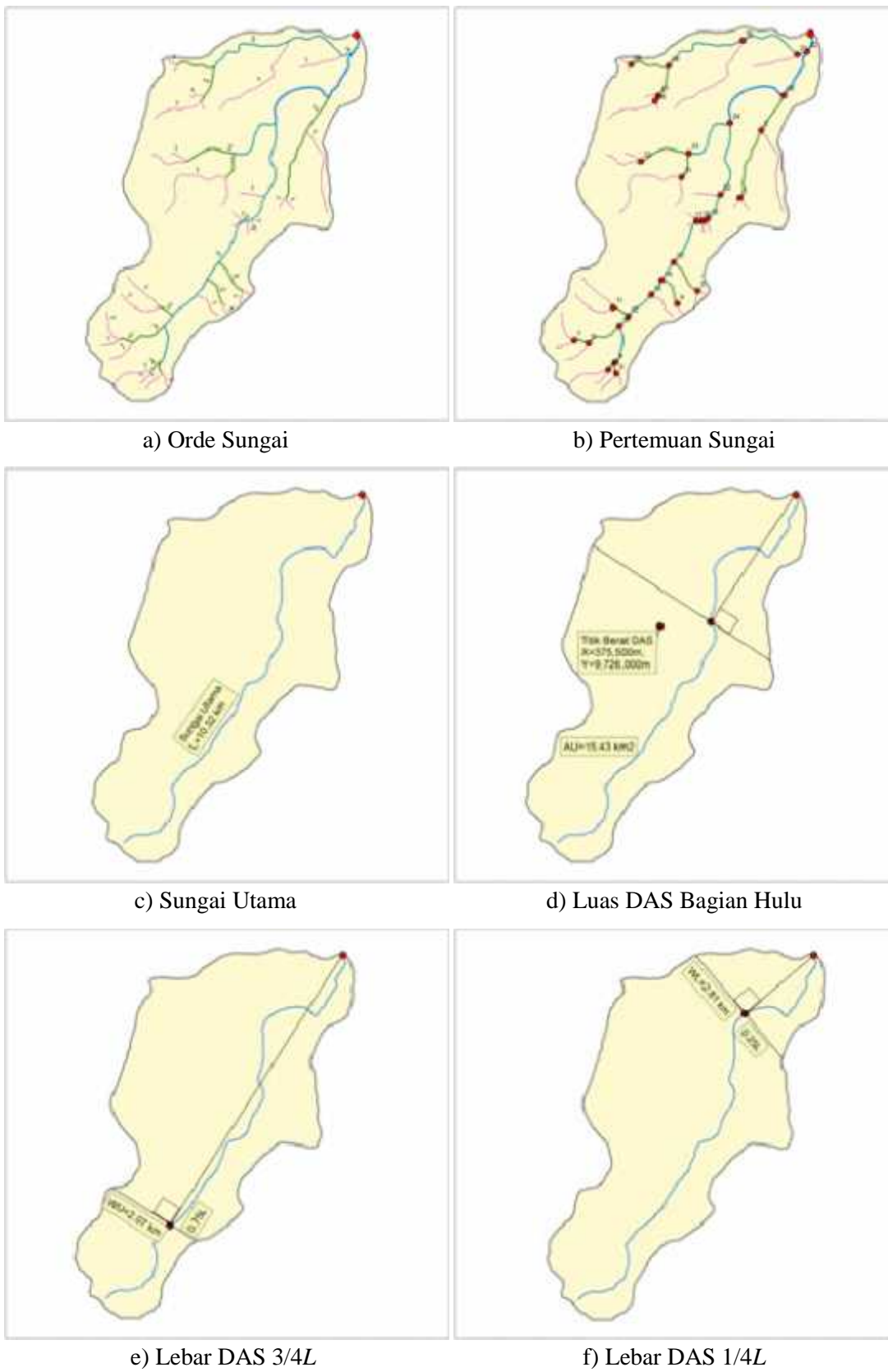
Tabel 5.25 Parameter morfometri 8 DAS

No	Parameter DAS	DAS							
		Bahomoleo	Pinama	Toaya	Bangga	Singkoyo	Tambun	Malino	Bunta
1	Luas DAS (A , km ²)	23.88	49.35	65.51	68.19	116.05	118.19	128.75	144.73
2	Panjang sungai utama (L , km)	10.32	15.64	21.82	16.48	26.81	19.99	19.19	28.7
3	Kemiringan sungai utama (S)	0.0763	0.0342	0.0653	0.08948	0.0456	0.0975	0.1081	0.0635

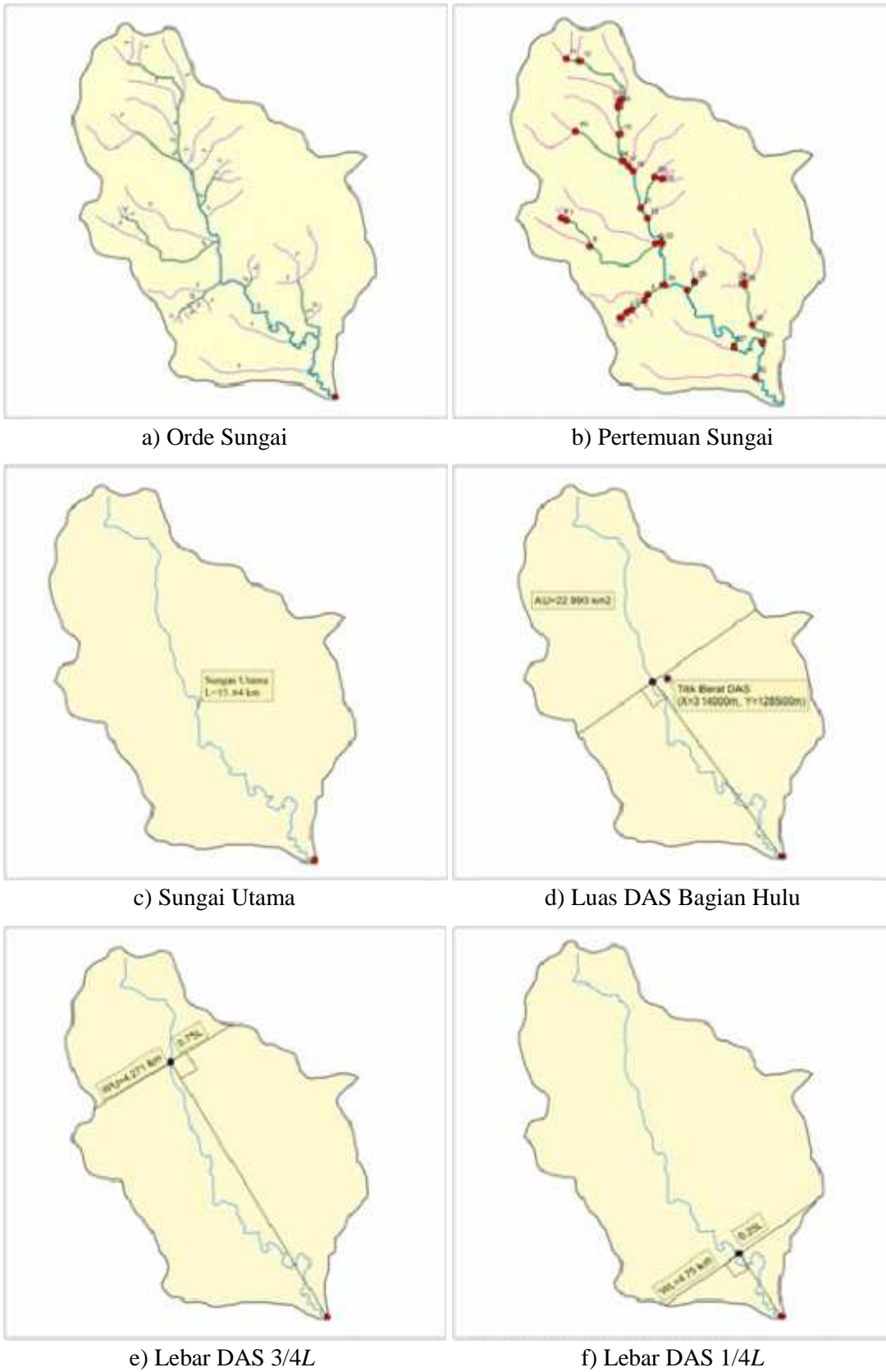
Lanjutan Tabel 5.25 Parameter morfometri 8 DAS

No	Parameter DAS	DAS							
		Bahomoleo	Pinama	Toaya	Bangga	Singkoyo	Tambun	Malino	Bunta
4	Panjang sungai utama sampai titik berat DAS (L_c , km)	6.11	6.07	9.3	7.65	10.16	10.94	9.22	8.83
5	Faktor bentuk DAS (F_b)	0.30	0.39	0.21	0.37	0.22	0.50	0.49	0.36
6	Lebar DAS bagian hulu (WU , km)	2.07	4.27	4.78	5.807	6.64	6.77	8.47	12.66
7	Lebar DAS bagian hilir (WL , km)	2.81	4.75	2.56	5.56	2.78	7.3	6.55	15.83
8	Luas DAS bagian hulu (AU , km ²)	15.43	22.99	38.11	37.06	58.99	56.84	64.04	81.94
9	Jumlah Orde (n)	4	3	4	4	4	5	5	5
10	Jumlah pertemuan sungai (JN)	32	32	65	81	105	113	124	168
11	Panjang sungai orde 1 (km)	20.18	36.85	48.96	68.90	76.86	122.93	118.69	113.15
12	Panjang Sungai semua tingkat (km)	43.06	61.36	88.94	116.96	144.69	199.39	205.68	222.60
13	Kerapatan jaringan drainase (D)	1.80	1.24	1.36	1.72	1.25	1.69	1.60	1.54
14	Jumlah segmen sungai tingkat 1	34	34	67	92	106	125	137	182
15	Jumlah segmen sungai semua tingkat	70	71	137	180	211	242	267	356
16	Curve number (CN)	66	66	66	66	66	66	66	66
17	Rasio panjang sungai (R_L)	1.23	1.03	1.09	0.9	1.17	0.9	1.04	1.13

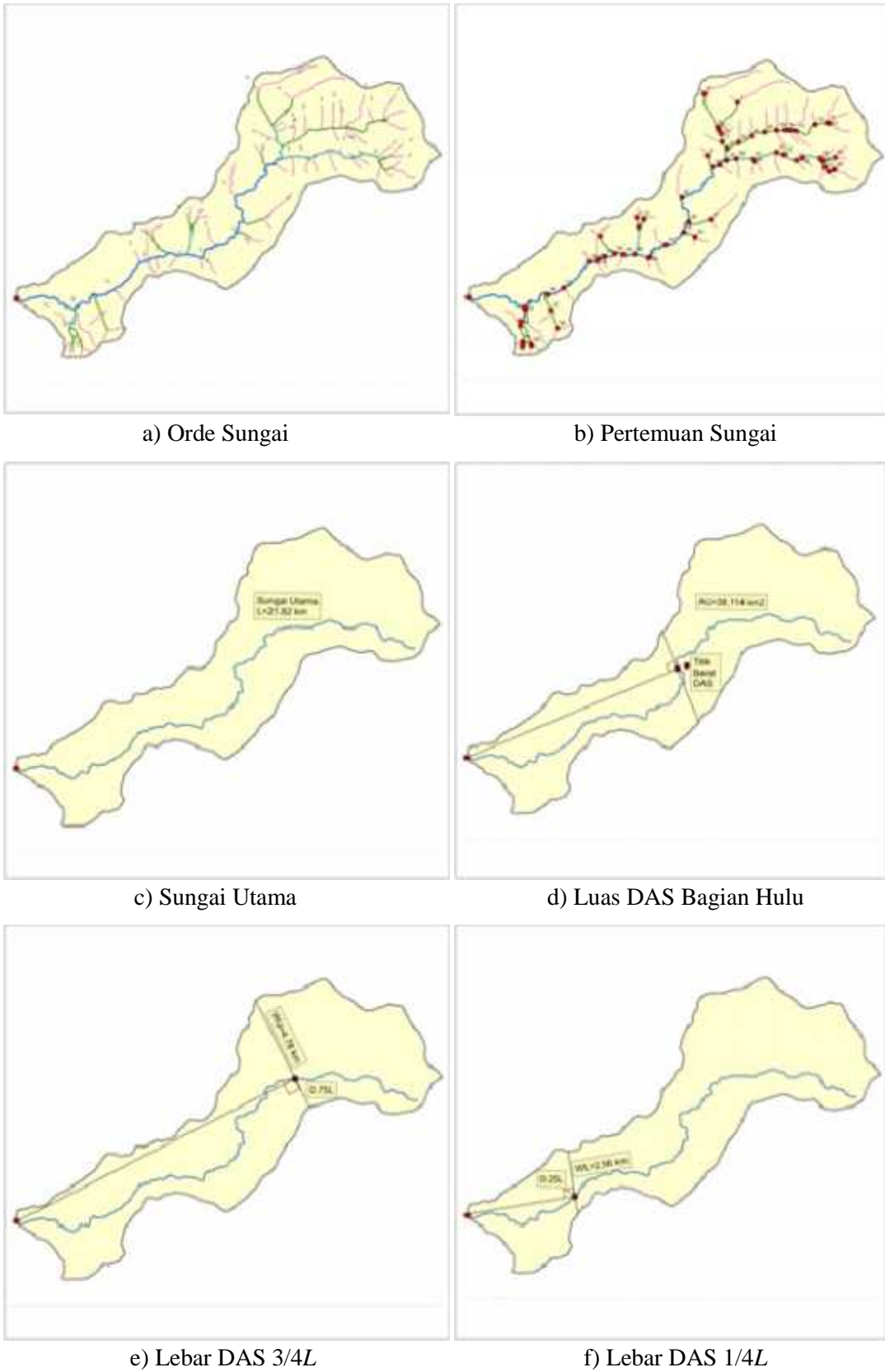
Parameter morfometri tersebut diperoleh berdasarkan analisis morfometri DAS sebagaimana telah dilakukan sebelumnya menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis. Berikut ini disajikan (Gambar 5.28–Gambar 5.35 poin a-f) hasil analisis morfometri 8 DAS menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.1 yang memuat 6 parameter morfometri pada 8 DAS.



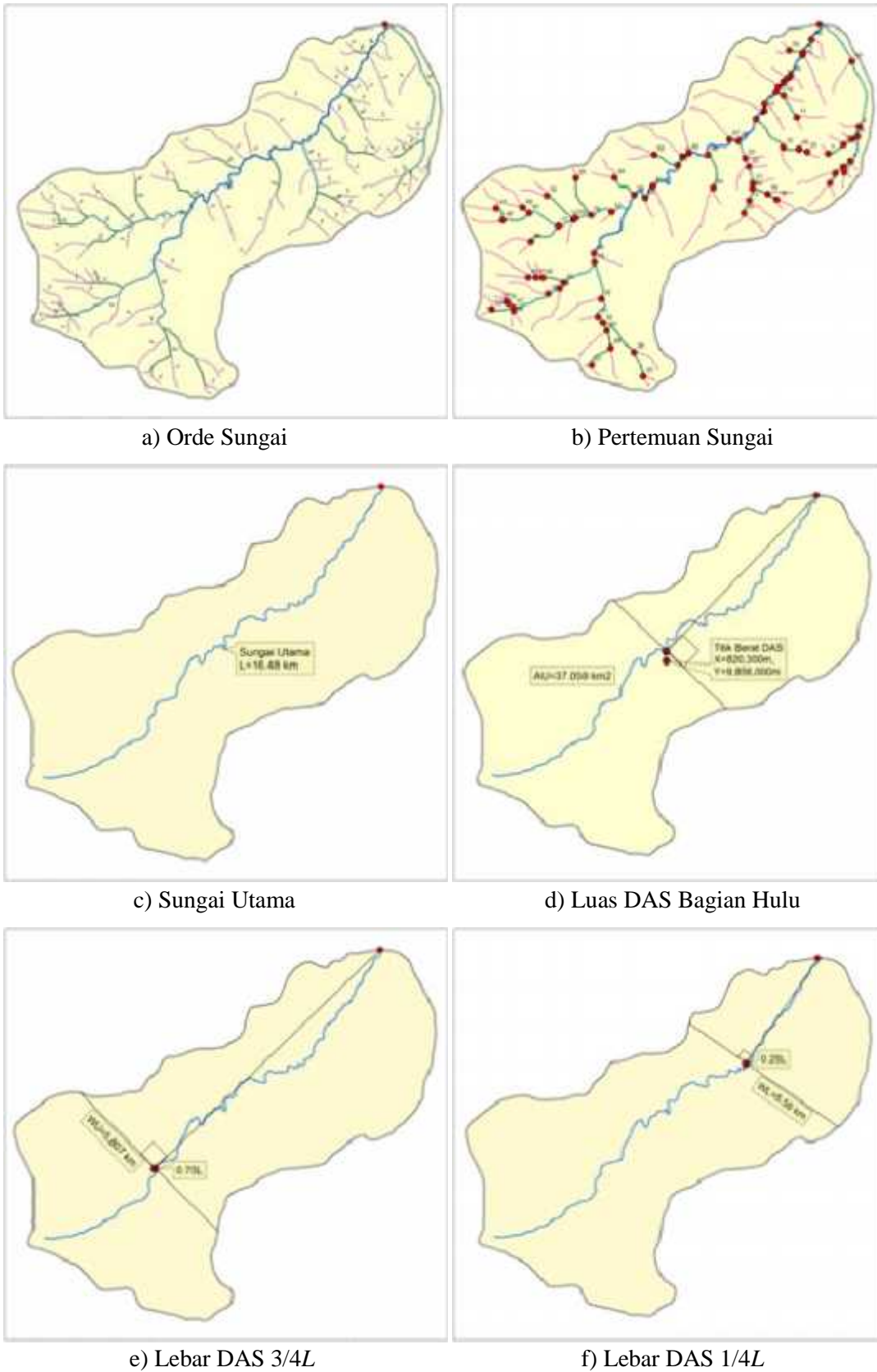
Gambar 5.28 Parameter morfometri DAS Bahomoleo



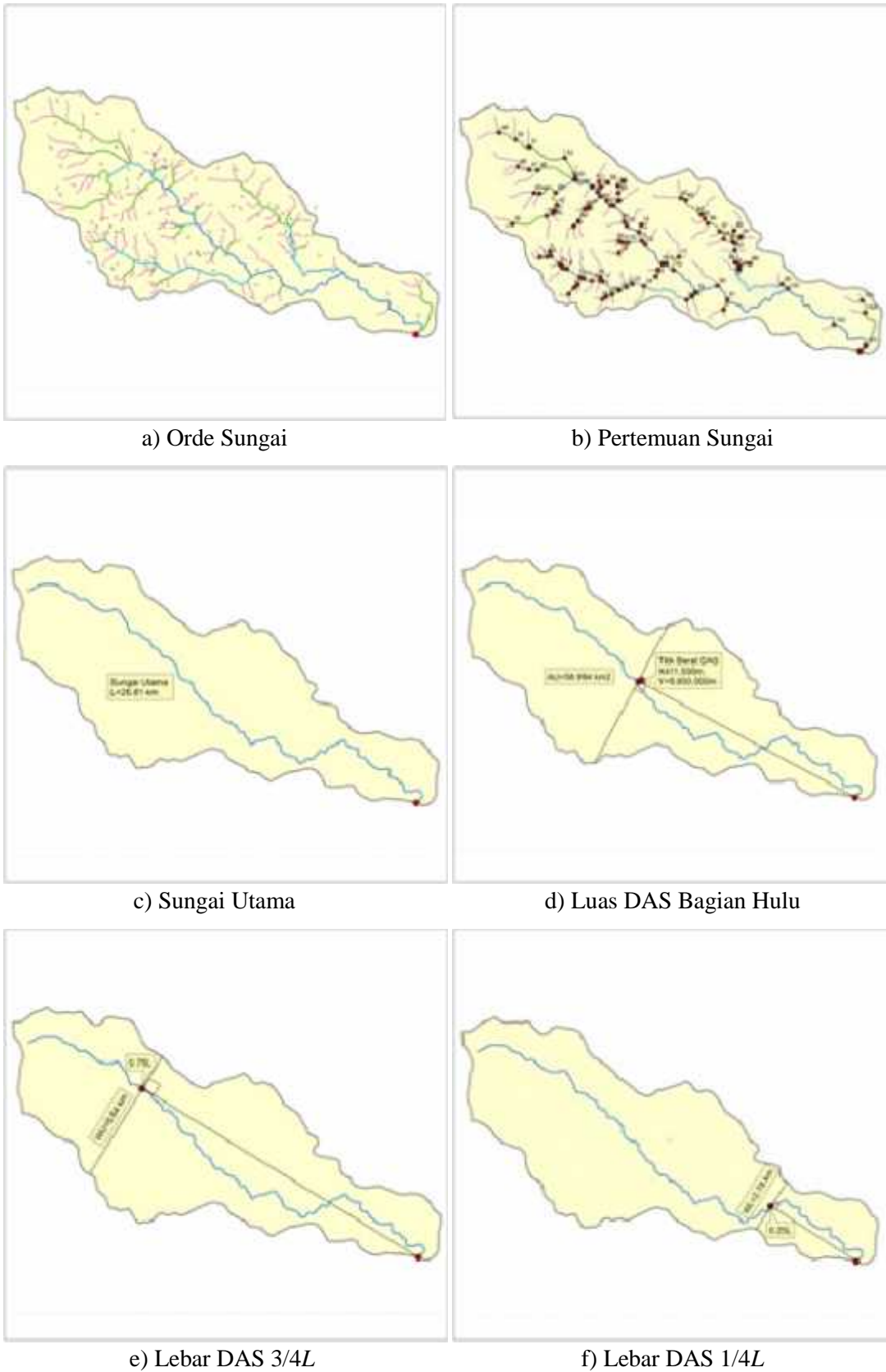
Gambar 5.29 Parameter morfometri DAS Pinamula



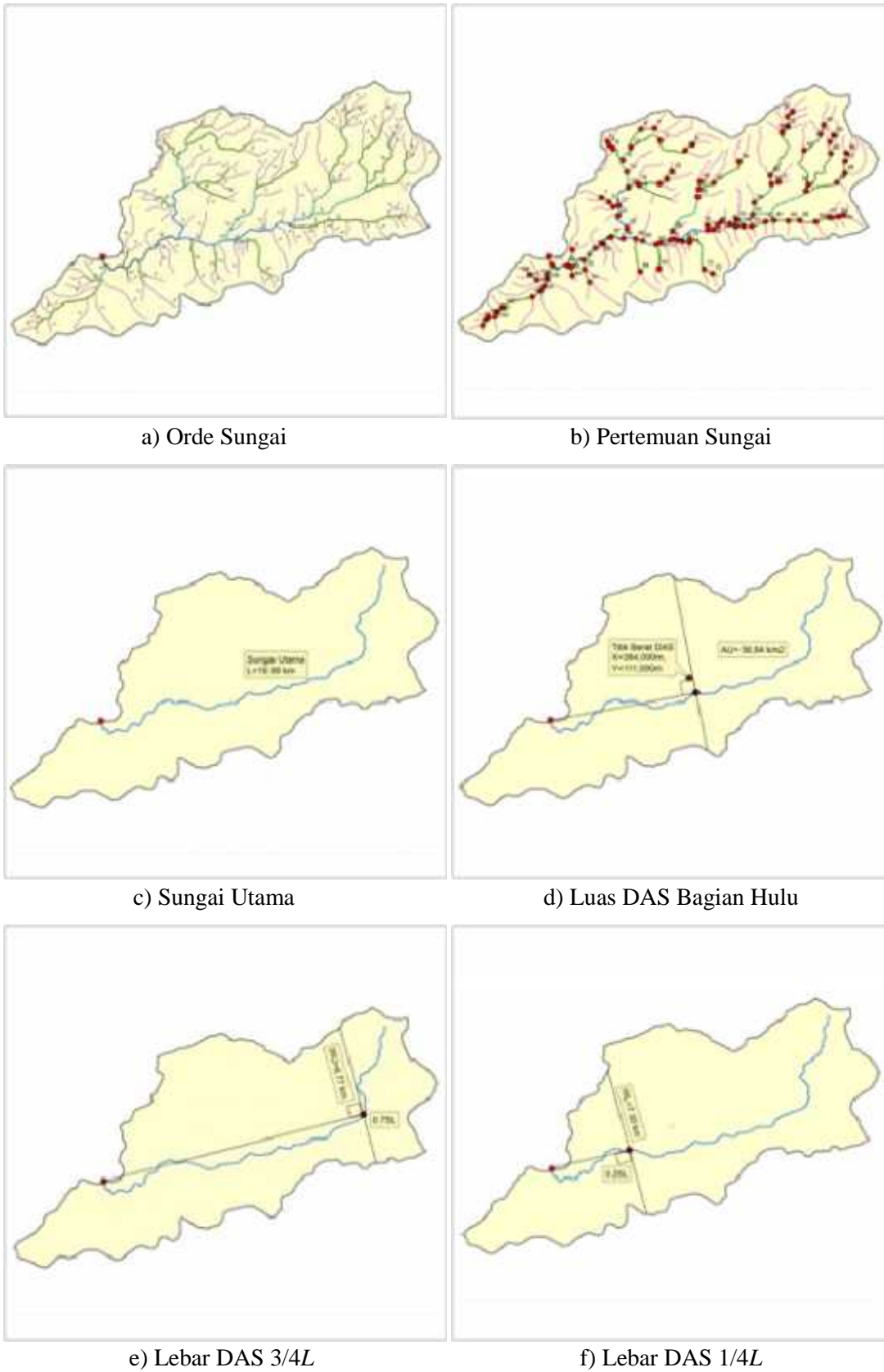
Gambar 5.30 Parameter morfometri DAS Toaya



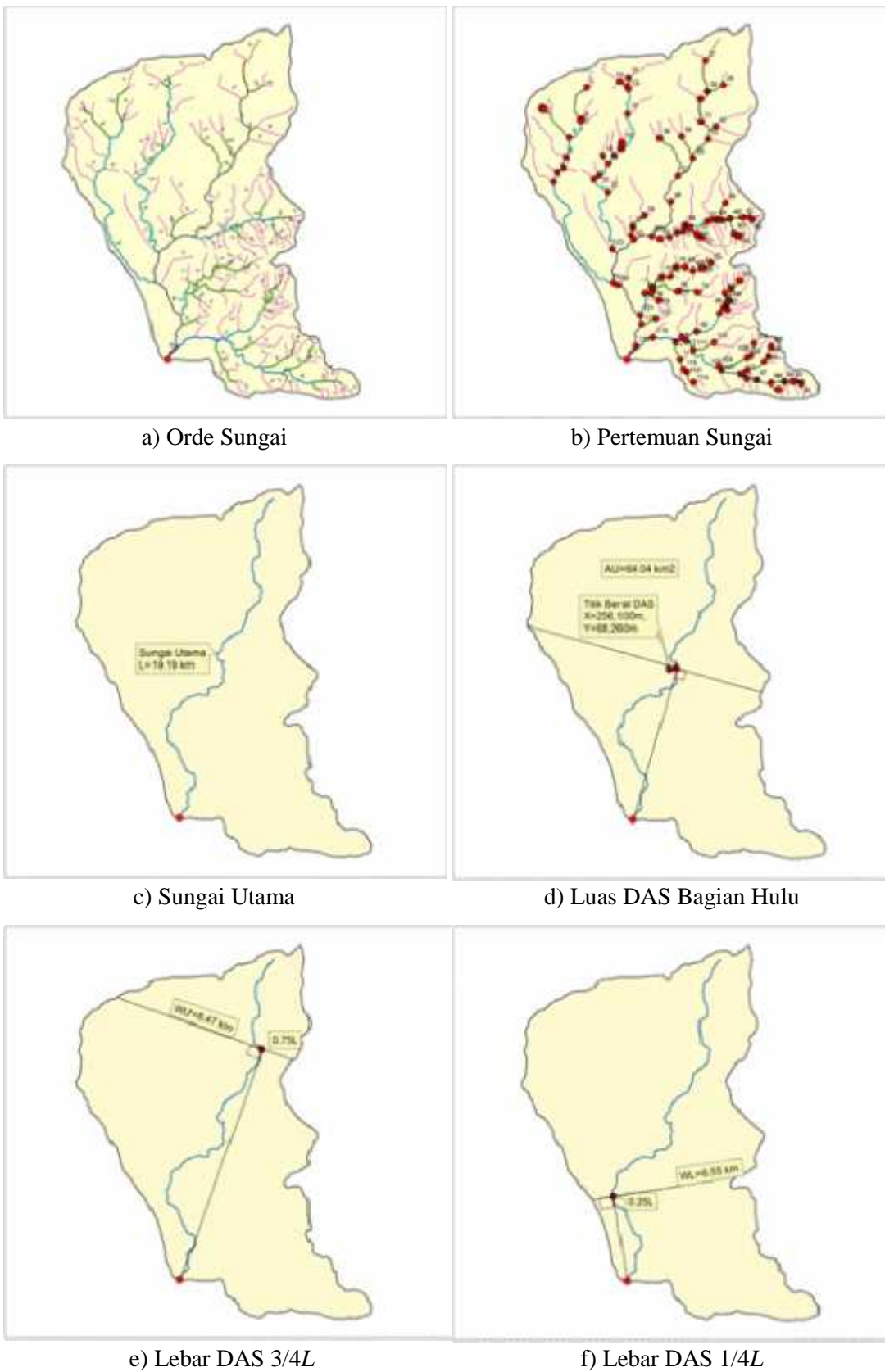
Gambar 5.31 Parameter morfometri DAS Bangsa



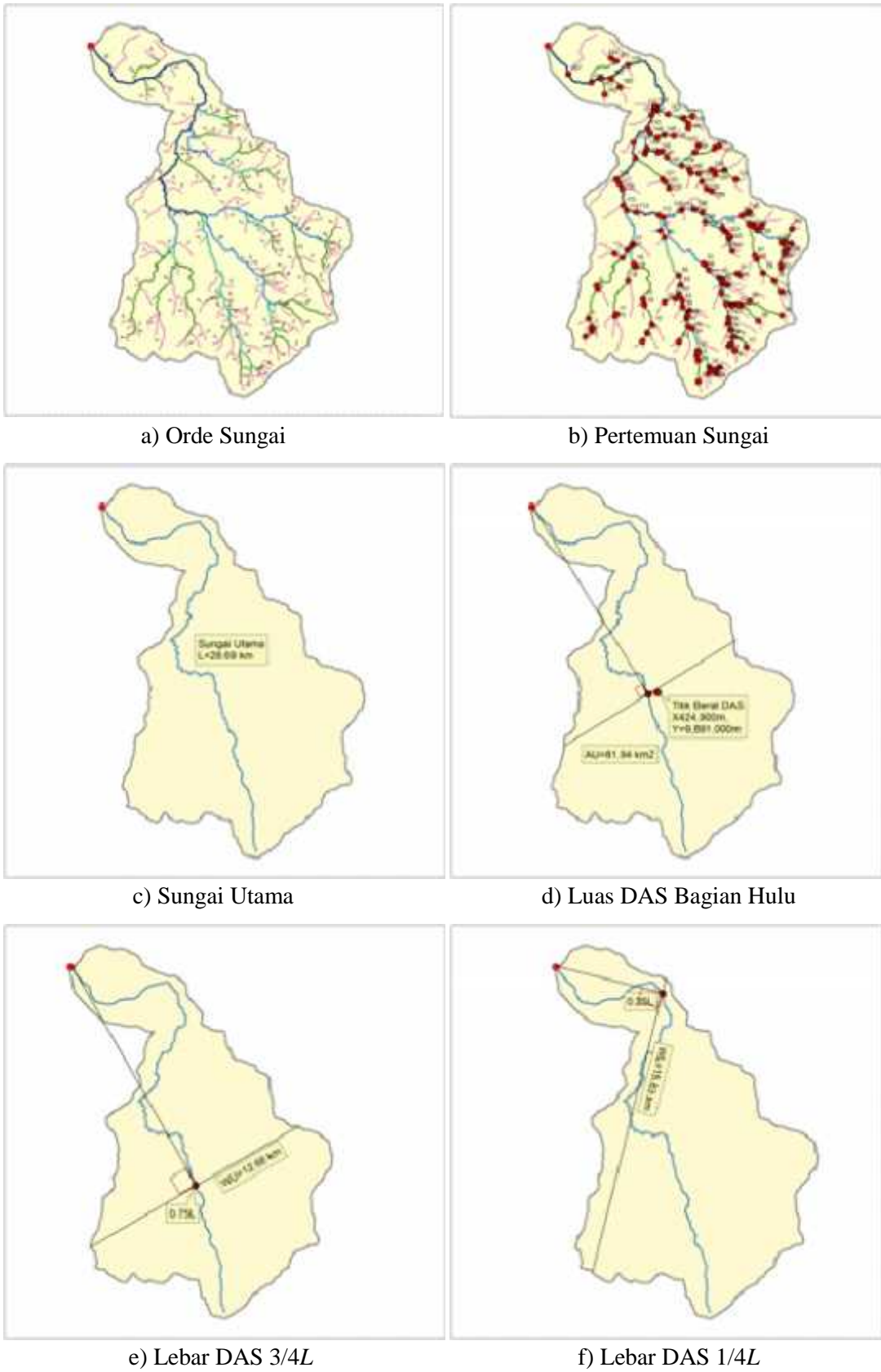
Gambar 5.32 Parameter morfometri DAS Singkoyo



Gambar 5.33 Parameter morfometri DAS Tambun



Gambar 5.34 Parameter morfometri DAS Malino



Gambar 5.35 Parameter morfometri DAS Bunta

5.5.1 HSS Snyder

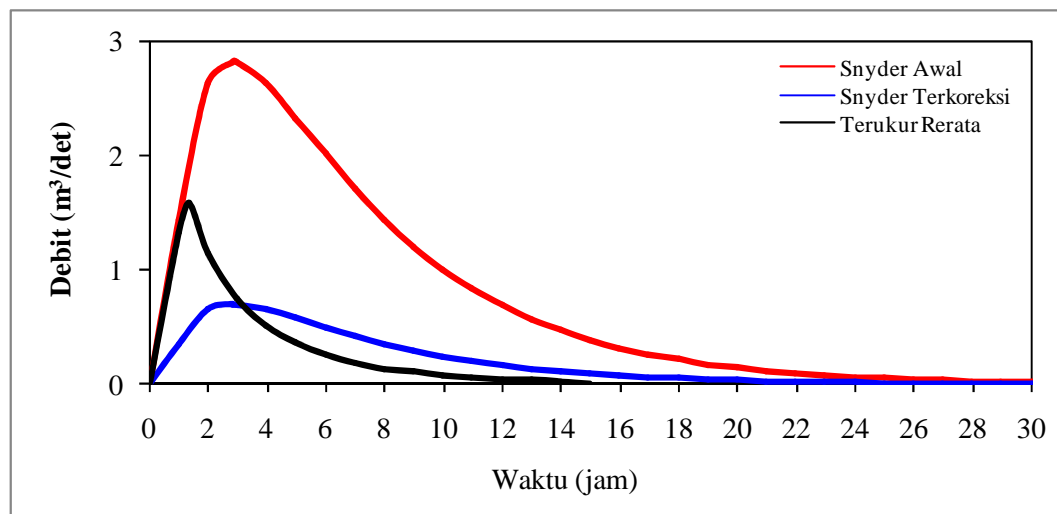
Parameter DAS yang digunakan dalam HSS Snyder adalah luas DAS (A), panjang sungai utama (L) dan panjang sungai utama sampai titik berat DAS (L_c). Menggunakan persamaan Snyder–Alexejev, berikut disajikan contoh perhitungan parameter dan ordinat hidrograf satuan sintetik DAS Bahomoleo. Untuk DAS lainnya, rekapitulasi hasil perhitungan disajikan pada Lampiran C.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)			
Luas DAS	A	=	23.88 km ²
Panjang sungai utama	L	=	10.32 km
Panjang sungai utama dari titik berat DAS – <i>outlet</i>	L_c	=	6.11 km
2) Koefisien dan Konstanta			
Koefisien tampungan DAS	C_t	=	0.8
Konstanta empiris	C_p	=	1.2
Konstanta	n	=	0.2
3) Parameter HSS Snyder			
<i>Time lag</i>	T_L	=	$C_t*(L*L_c)^n$
		=	1.83 jam
Durasi hujan efektif	T_r	=	1.00 jam
	$T_{r/l}$	=	$T_L/5.5$
		=	0.33 jam
Waktu puncak	$T_{r/l} > T_r$	T_p	= $T_L + 0.25*(T_{r/l} - T_r) + T_r/2$
	$T_{r/l} < T_r$	T_p	= $T_L + T_r/2$
		T_p	= 2.33 jam
Debit puncak		q_p	= $0.278*(C_p/T_p)$
			= 0.14 m ³ /det/km ²
		Q_p	= Q_p*A
			= 3.42 m ³ /det
Waktu dasar		T_b	= $(3+T_p/8)$ hari
			= 3.29 hari
			= 79.00 jam
4) Parameter Alexejev			
		β	= $(Q_p*T_p)/(h*A)$
			= 0.334
		a	= $1.32l^2 + 0.15l + 0.05$
			= 0.247

Hasil perhitungan hidrograf satuan sintetik disajikan Tabel 5.26 dan Gambar 5.36, yang menyajikan hubungan antara waktu (jam) dan debit (m³/det), dimana ordinat hidrograf satuan sintetik diperoleh berdasarkan Persamaan Alexejev.

Tabel 5.26 HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo

No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2/X)}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi (m^3/det)	Volume Koreksi (m^3/det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.43	0.65	2.22	7977.07	0.54	1934.50
3	2	0.86	0.99	3.37	12132.05	0.82	2942.11
4	2.33	1.00	1.00	3.42	12296.45	0.83	2981.98
5	3	1.29	0.96	3.29	11858.91	0.80	2875.87
6	4	1.72	0.84	2.88	10379.12	0.70	2517.01
7	5	2.14	0.71	2.41	8691.17	0.59	2107.67
8	6	2.57	0.58	1.98	7118.64	0.48	1726.32
9	7	3.00	0.47	1.60	5757.46	0.39	1396.23
10	8	3.43	0.38	1.28	4619.94	0.31	1120.37
11	9	3.86	0.30	1.02	3687.71	0.25	894.30
12	10	4.29	0.24	0.81	2932.76	0.20	711.22
13	11	4.72	0.19	0.65	2326.12	0.16	564.10
14	12	5.15	0.15	0.51	1841.27	0.12	446.52
15	13	5.57	0.12	0.40	1455.22	0.10	352.90
16	14	6.00	0.09	0.32	1148.72	0.08	278.57
17	15	6.43	0.07	0.25	905.90	0.06	219.69
18	16	6.86	0.06	0.20	713.84	0.05	173.11
19	17	7.29	0.05	0.16	562.13	0.04	136.32
20	18	7.72	0.04	0.12	442.43	0.03	107.29
21	19	8.15	0.03	0.10	348.05	0.02	84.41
22	20	8.58	0.02	0.08	273.70	0.02	66.38
23	21	9.00	0.02	0.06	215.17	0.01	52.18
Jumlah Volume (m^3)				98471.27		23880	
Luas DAS (m^2)				23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				4.12		1	



Gambar 5.36 HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo

Secara umum HSS Snyder menghasilkan penyimpangan yang relatif besar pada parameter waktu puncak dan waktu dasar, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.27. Untuk debit puncak, penyimpangan yang dihasilkan relatif lebih rendah dari penyimpangan waktu puncak dan waktu dasar, berkisar antara 25.2% sampai 47.6% pada 8 DAS yang dievaluasi. Pada beberapa DAS, Model HSS Snyder menunjukkan kinerja relatif baik pada DAS Bunta (25.2%) untuk parameter debit puncak dan DAS Bunta (3.0%), DAS Singkoyo (9.7%) dan DAS Toaya (23.7%) untuk parameter waktu puncak, sedangkan untuk parameter waktu dasar HSS Snyder memperlihatkan kinerja yang sangat rendah untuk seluruh DAS yang ditinjau.

Tabel 5.27 Penyimpangan parameter Model HSS Snyder

No.	Nama DAS	Parameter HSS Snyder			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	0.8	2.3	79.0	1.6	1.4	12.0	47.6	72.8	558.3
2	Pinamula	1.4	3.0	81.0	2.5	2.1	16.0	44.8	42.3	406.0
3	Toaya	1.7	3.3	81.9	2.8	2.7	18.0	40.4	23.7	355.2
4	Bangga	1.8	3.1	81.3	3.2	2.2	16.0	42.1	42.4	408.2
5	Singkoyo	2.8	3.5	82.4	4.1	3.2	26.0	30.7	9.7	216.8
6	Tambun	3.0	3.3	82.0	4.6	2.5	24.0	35.3	33.5	241.9
7	Malino	3.3	3.3	81.8	5.0	2.4	24.0	33.3	33.3	240.7
8	Bunta	3.6	3.4	82.3	4.8	3.3	28.0	25.2	3.0	193.8

Penyimpangan yang besar pada parameter waktu dasar dapat dicermati sebagai akibat dari persamaan waktu dasar pada Model HSS Snyder menghasilkan waktu dasar hidrograf minimal 3 hari. Bilamana persamaan ini diaplikasikan pada DAS-DAS yang kecil dan menengah dengan waktu dasar hidrograf kurang dari 3 hari, maka dapat dipastikan bahwa penyimpangan yang dihasilkan menjadi besar. Namun demikian persamaan waktu dasar hidrograf ini kemungkinan akan memberikan kinerja yang lebih baik pada DAS besar dan memiliki sifat tampungan DAS yang baik dengan waktu dasar hidrograf lebih dari 3 hari. Oleh karena itu untuk DAS kecil dan menengah, persamaan waktu dasar hidrograf perlu disesuaikan untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik, dengan memperhatikan karakteristik DAS yang berkaitan dengan sisi resesi hidrograf yang berperan penting dalam pengatusan aliran di sungai (Triatmodjo, 2008).

5.5.2 HSS Nakayasu

Persamaan Model HSS Nakayasu hanya menggunakan 2 buah parameter utama DAS yaitu luas DAS dan panjang sungai utama, sebagaimana diperlihatkan pada contoh perhitungan pada DAS Bahomoleo berikut ini.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

- | | | | |
|-------------------------|-------|-------|-----------------|
| a. Luas DAS | $A =$ | 23.88 | km ² |
| b. Panjang sungai utama | $L =$ | 10.32 | km |

2) Parameter HSS Nakayasu

a. Parameter waktu

Tenggang waktu konsentrasi (T_g)

Jika $L < 15$ km, $T_g = 0.21 * L^{0.7}$

Jika $L > 15$ km, $T_g = 0.4 + 0.058 * L$

$$T_g = 1.08 \text{ jam}$$

Koefisien pengaliran (Γ)

$$\Gamma = 0.47(A * L)^{0.25} / T_g = 1.73$$

Tenggang waktu penurunan debit 30%, ($T_{0.3}$)

$T_{0.3} = \Gamma * T_g$

$T_{0.3} = 0.47(A * L)^{0.25}$

$$T_{0.3} = 1.86 \text{ jam}$$

$$T_{0.3} = 1.86 \text{ jam}$$

Satuan durasi hujan (T_r)

$T_r = (0.5 - 1) T_g$

$$T_r = 0.54 \text{ jam}$$

b. Waktu puncak (T_p)

$T_p = T_g + 0.8 T_r$

$$T_p = 1.51 \text{ jam}$$

c. Debit puncak (Q_p)

$Q_p = A * R_0 / (3.6 * (0.3 T_p + T_{0.3}))$

$$Q_p = 2.87 \text{ m}^3/\text{det}$$

d. Kurva HSS Nakayasu

Debit naik (Q_a) = $0 < Q_a \leq 2.87$ m³/det

Debit turun (Q_{d1}) = $2.87 > Q_{d1} \geq 0.86$ m³/det

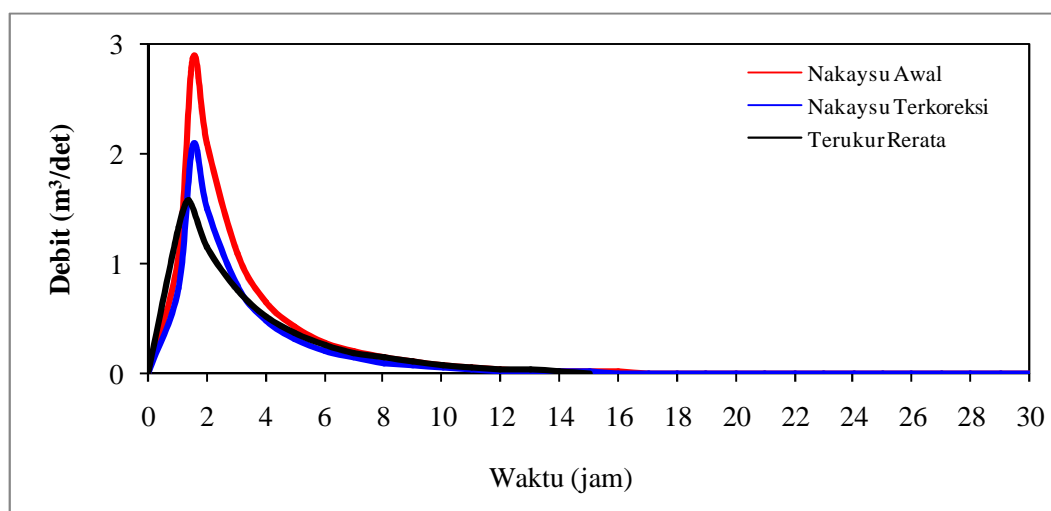
Debit turun (Q_{d2}) = $0.86 > Q_{d2} \geq 0.26$ m³/det

Debit turun (Q_{d3}) = $Q_{d3} < 0.26$ m³/det

Satu-satunya koefisien yang digunakan pada persamaan ini adalah koefisien Γ yang berperan dalam penentuan waktu puncak hidrograf. Koefisien Γ pada persamaan ini dapat ditetapkan berdasarkan sebuah persamaan atau ditentukan berdasarkan sifat pengaliran di dalam DAS. Pada beberapa kasus, nilai yang dihasilkan berdasarkan kedua cara tersebut relatif sama, tetapi pada kasus-kasus lainnya nilai tersebut dapat mengalami perbedaan yang besar. Oleh karena itu perlu kehati-hatian dan kepekaan dalam menetapkan koefisien Γ tersebut.

Tabel 5.28 HSS Nakayasu DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q_a
2	1.00	1.07	3863.94	0.78	2791.13	Q_a
3	1.51	2.87	10320.90	2.07	7455.35	Q_p
4	2.00	2.08	7498.19	1.50	5416.35	Q_{d1}
5	3.00	1.09	3927.71	0.79	2837.20	Q_{d1}
6	4.00	0.65	2357.73	0.47	1703.12	Q_{d2}
7	5.00	0.43	1532.09	0.31	1106.71	Q_{d2}
8	6.00	0.28	995.57	0.20	719.15	Q_{d2}
9	7.00	0.20	708.17	0.14	511.55	Q_{d3}
10	8.00	0.14	512.54	0.10	370.23	Q_{d3}
11	9.00	0.10	370.95	0.07	267.96	Q_{d3}
12	10.00	0.07	268.48	0.05	193.94	Q_{d3}
13	11.00	0.05	194.31	0.04	140.36	Q_{d3}
14	12.00	0.04	140.63	0.03	101.59	Q_{d3}
15	13.00	0.03	101.79	0.02	73.52	Q_{d3}
16	14.00	0.02	73.67	0.01	53.21	Q_{d3}
17	15.00	0.01	53.32	0.01	38.51	Q_{d3}
18	16.00	0.01	38.59	0.01	27.87	Q_{d3}
19	17.00	0.01	27.93	0.01	20.17	Q_{d3}
20	18.00	0.01	20.21	0.00	14.60	Q_{d3}
21	19.00	0.00	14.63	0.00	10.57	Q_{d3}
22	20.00	0.00	10.59	0.00	7.65	Q_{d3}
23	21.00	0.00	7.66	0.00	5.54	Q_{d3}
Jumlah Volume (m ³)			33058.59		23880.00	
Luas DAS (m ²)			23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.38		1.00	



Gambar 5.37 HSS Nakayasu DAS Bahomoleo

Hasil perhitungan HSS Nakayasu untuk DAS Bahomoleo disajikan pada Tabel 5.28 dan untuk 7 DAS lainnya disajikan pada Lampiran C. Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5.28, ordinat hidograf satuan perlu dikoreksi seperti pada HSS Snyder untuk mendapatkan tinggi hujan 1 satuan (mm). Bila koreksi tidak dilakukan maka konsep hidograf satuan menjadi tidak berlaku mengingat bahwa volume limpasan langsung di sungai sama dengan volume hujan yang jatuh dipermukaan DAS akibat hujan 1 mm. Oleh karena itu koreksi volume limpasan langsung harus dilakukan dengan cara membagi debit dengan tinggi hujan sebelum dikoreksi. Kurva hidograf satuan sintetik terbagi menjadi 4 segmen (Tabel 5.28) yaitu 1 segmen pada sisi naik dan 3 buah pada sisi resesi yang dibentuk oleh 4 buah persamaan yang berbeda (Safarina et al., 2012). Empat (4) buah persamaan tersebut menghasilkan kurva hidograf seperti pada Gambar 5.37.

Sebagaimana Model HSS Snyder, HSS Nakayasu juga memberikan penyimpangan dengan varian yang besar pada semua parameter yang diuji dan semua DAS yang dievaluasi, seperti ditampilkan pada Tabel 5.29. Kinerja rendah ditunjukkan pada parameter debit puncak dan waktu dasar, sedangkan 1 parameter lainnya menghasilkan penyimpangan relatif lebih rendah. Namun secara khusus dapat dicermati bahwa penyimpangan waktu dasar hidograf relatif lebih rendah dari Model HSS Snyder. Hal ini kemungkinan berkaitan dengan tidak adanya pembatasan waktu dasar hidograf, tetapi dikontrol oleh sisi resesi hidograf pada segmen 4.

Tabel 5.29 Penyimpangan parameter Model HSS Nakayasu

No.	Nama DAS	Parameter HSS Nakayasu			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	2.1	1.5	19.0	1.6	1.4	12.0	31.1	11.5	58.3
2	Pinamula	3.4	1.8	26.0	2.5	2.1	16.0	36.7	12.9	62.5
3	Toaya	4.0	2.3	34.0	2.8	2.7	18.0	44.7	13.0	88.9
4	Bangga	4.4	1.9	30.0	3.2	2.2	16.0	38.0	12.9	87.5
5	Singkoyo	6.1	2.7	30.0	4.1	3.2	26.0	50.0	13.1	15.4
6	Tambun	6.7	2.2	30.0	4.6	2.5	24.0	46.2	13.0	25.0
7	Malino	7.2	2.1	36.0	5.0	2.4	24.0	45.2	13.2	50.0
8	Bunta	7.2	2.9	37.0	4.8	3.3	28.0	50.3	12.9	32.1

5.5.3 HSS Soil Conservation Service (SCS)

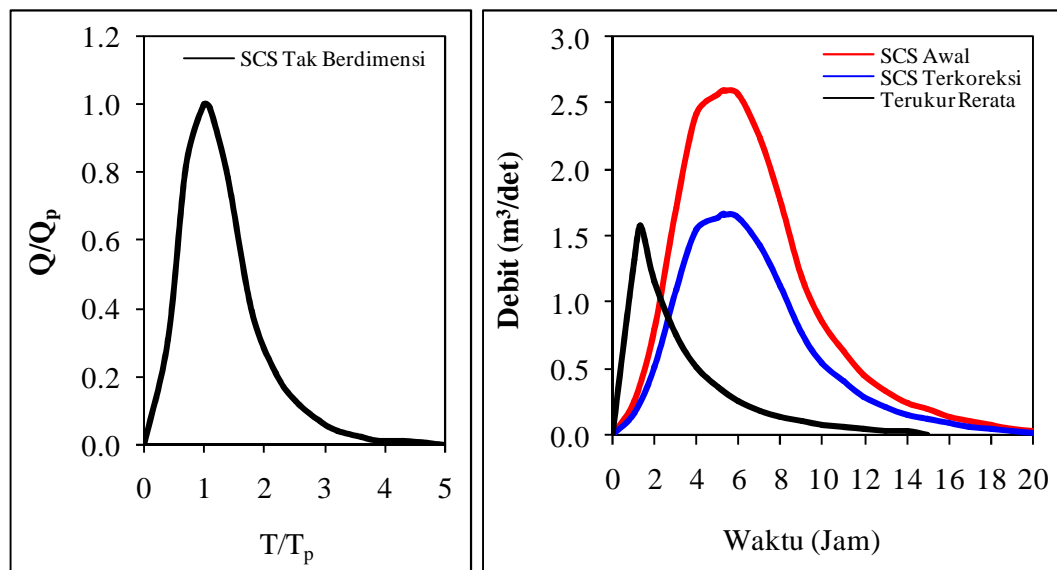
HSS SCS merupakan salah satu hidrograf satuan tak berdimensi, artinya bahwa penentuan hidrograf satuan sintetik ditetapkan berdasarkan rasio waktu dan rasio debit yang telah ditetapkan sebelumnya dan berlaku umum (sama) untuk setiap DAS yang dievaluasi. Model HSS ini menggunakan 4 buah parameter DAS yaitu luas DAS, panjang sungai utama, kemiringan sungai utama dan *Curve Number* (CN). Parameter yang terakhir ini penentuannya sangat sulit karena bergantung pada banyak variabel terutama jenis tutupan lahan dan karakteristik tanah. Selain itu ketersediaan data untuk pemenuhan parameter ini sangat terbatas terutama di Indonesia dengan tingkat penyebaran data yang tidak merata. Namun demikian, parameter ini perannya sangat penting karena sangat berperan pada proses transformasi hujan menjadi limpasan di dalam DAS (Viji et al., 2015).

Berikut ini disajikan contoh perhitungan parameter hidrograf berdasarkan Model SCS di DAS Bahomoleo dengan rekapitulasi hitungan disajikan pada Tabel 5.30. Untuk DAS lainnya, rekapitulasi hitungan hidrograf satuan sintetik disajikan pada Lampiran C.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)			
a. Luas DAS	A	=	23.88 km ²
b. Panjang sungai utama	L	=	10.32 km
c. Kemiringan sungai utama	S	=	0.07639
d. <i>Curve number</i>	CN	=	66.00
2) Parameter HSS SCS			
a. Waktu puncak (T_p)			
$T_p = T_r + 0.5 * T_r$			
Durasi hujan	T_r	=	1 jam
Waktu kelambatan (T_l)			
$T_l = L^{0.8} * ((2540 - 22.86CN) / (14104CN^{0.7} * S^{0.5}))$			
	T_l	=	2.29 jam
	T_p	=	2.79 jam
b. Debit puncak (Q_p)			
$Q_p = A * R_o / (3.6 * T_p)$			
	Q_p	=	2.38 m ³ /det
c. Waktu Dasar (T_b)			
$T_b = 5T_p$			
	T_b	=	13.94 jam
d. Kurva hidrograf			
Persamaan kurva	Tak berdimensi		

Tabel 5.30 HSS SCS DAS Bahomoleo

No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.40	0.31	0.74	2654.48	0.43	1548.70
3	0.20	0.10	2	0.70	0.82	1.95	7021.54	1.14	4096.57
4	0.30	0.19	2.79	1.00	1.00	2.38	8562.85	1.39	4995.82
5	0.40	0.31	3	1.10	0.99	2.35	8477.22	1.37	4945.86
6	0.50	0.47	4	1.40	0.78	1.86	6679.03	1.08	3896.74
7	0.60	0.66	5	1.80	0.39	0.93	3339.51	0.54	1948.37
8	0.70	0.82	6	2.20	0.21	0.49	1772.51	0.29	1034.13
9	0.80	0.93	7	2.50	0.13	0.30	1087.48	0.18	634.47
10	0.90	0.99	8	2.90	0.07	0.16	565.15	0.09	329.72
11	1.00	1.00	9	3.20	0.04	0.10	342.51	0.06	199.83
12	1.10	0.99	10	3.60	0.02	0.05	179.82	0.03	104.91
13	1.20	0.93	11	3.90	0.01	0.03	111.32	0.02	64.95
14	1.30	0.86	12	4.30	0.01	0.03	94.19	0.02	54.95
15	1.40	0.78	13	4.70	0.01	0.01	42.81	0.01	24.98
16	1.50	0.68	14	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	1.60	0.56	15	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	1.70	0.46	16	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.80	0.39	17	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	1.90	0.33	18	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	1.95	0.31	19	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.00	0.28	20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	2.10	0.24	21	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)						40930.44		23880.00	
Luas DAS (m ²)						23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.71		1.00	



Gambar 5.38 HSS SCS DAS Bahomoleo

Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya bahwa koordinat waktu dan debit pada HSS SCS ditetapkan berdasarkan rasio waktu dan rasio debit. Kedua rasio tersebut menghasilkan sebuah hidrograf tunggal (Gambar 5.38). Serupa dengan Model HSS sebelumnya (Snyder dan Nakayasu), cara ini dalam menghasilkan hidrograf satuan sintetik terlebih dahulu harus dilakukan koreksi debit. Hujan satuan yang dihasilkan umumnya memiliki perbedaan yang besar dengan hujan satuan standar (1 mm). Hal ini terjadi akibat volume limpasan langsung lebih besar atau lebih kecil dari volume hujan di permukaan DAS.

Berdasarkan rekapitulasi hasil perhitungan hidrograf satuan sintetik pada 8 DAS yang ditinjau, penyimpangan parameter hidrograf dapat dianalisis. Seperti tersaji pada Tabel 5.31, Model HSS SCS juga memberikan penyimpangan dengan varian yang besar terutama pada debit puncak dan waktu puncak. Pada beberapa DAS seperti DAS Bahomoleo (12.2%), DAS Bangga (2.4%), dan DAS Tambun (12.8%) parameter debit puncak memperlihatkan kinerja yang sangat baik. Pada parameter waktu puncak, seluruh DAS memberikan penyimpangan yang besar. Untuk parameter waktu dasar, secara umum seluruh DAS memperlihatkan kinerja yang baik, meskipun 1 buah DAS memberikan penyimpangan di atas 30%. Hal ini menunjukkan bahwa penentuan waktu dasar hidrograf relatif sesuai dengan karakteristik DAS di daerah penelitian, walaupun penetapannya tidak didasarkan pada sebuah persamaan tertentu, tetapi didasarkan pada rasio debit dimana waktu dasar akan berakhir bilamana nilai debit mendekati 0.

Tabel 5.31 Penyimpangan parameter Model HSS SCS

No.	Nama DAS	Parameter HSS SCS			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	1.4	2.8	13.9	1.6	1.4	12.0	12.2	106.6	16.2
2	Pinamula	1.7	5.3	26.3	2.5	2.1	16.0	33.1	150.9	64.7
3	Toaya	2.4	5.0	25.0	2.8	2.7	18.0	15.1	86.8	39.1
4	Bangga	3.2	3.6	17.9	3.2	2.2	16.0	2.4	64.1	11.8
5	Singkoyo	3.2	6.9	34.3	4.1	3.2	26.0	21.4	117.6	31.8
6	Tambun	5.2	3.9	19.7	4.6	2.5	24.0	12.8	56.9	17.9
7	Malino	6.1	3.7	18.3	5.0	2.4	24.0	23.1	50.1	23.7
8	Bunta	4.4	6.2	30.9	4.8	3.3	28.0	8.5	86.4	10.5

5.5.4 HSS GAMA I

Seperti telah disampaikan oleh Sri Harto (1985), HSS GAMA I merupakan salah satu model hidrograf satuan sintetik yang menggunakan parameter DAS relatif banyak, setidaknya berjumlah 11 parameter, seperti ditunjukkan pada contoh perhitungan berikut ini (DAS Bahomoleo).

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

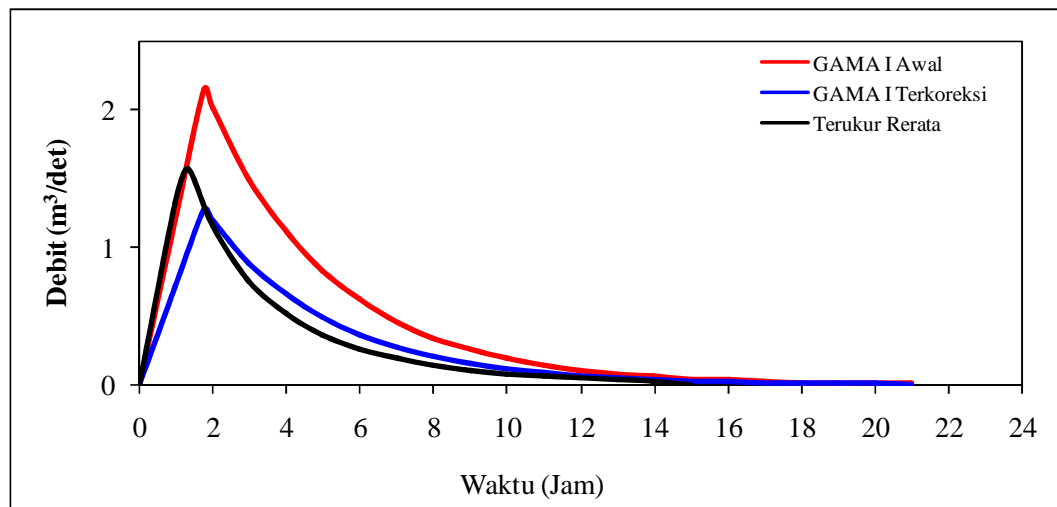
a. Luas DAS	A	=	23.88	km ²
b. Luas das hulu	AU	=	15.43	km ²
c. Panjang sungai utama	L	=	10.32	km
d. Lebar DAS $3/4 L$	WU	=	2.07	km
e. Lebar DAS $1/4 L$	WL	=	2.81	km
f. Kemiringan sungai	S	=	0.07639	
g. Panjang sungai tingkat satu		=	20.18	km
h. Panjang sungai semua tingkat		=	43.06	km
i. Jumlah segmen sungai tingkat satu		=	34	
j. Jumlah segmen sungai semua tingkat		=	70	
k. Jumlah pertemuan sungai	JN	=	32	
l. Jumlah pos hujan	N	=	1	

2) Parameter HSS GAMA I

a. Parameter dasar				
Faktor sumber	SF	=	0.47	
Frekuensi sumber	SN	=	0.49	
Faktor lebar	WF	=	0.74	
Luas relatif das sebelah hulu	RUA	=	0.65	
Faktor simetri	SIM	=	0.48	
Kerapatan jaringan kuras	D	=	1.80	km/km ²
b. Waktu naik (TR)				
$TR=(0.43*((L/(100*SF))^3)+(1.0665*SIM)+1.2775)$				
	TR	=	1.79	jam
c. Debit puncak (Q_p)				
$Q_p=(0.1836*(A)^0.5886)*((JN^0.2381))*((TR^(-0.4008)))$				
	Q_p	=	2.15	m ³ /det
d. Waktu dasar (T_b)				
$T_b=27.4132*((TR^0.1457))*((S^(-0.0986))*((SN^0.7344))*((RUA^0.2574))$				
	T_b	=	20.22	jam
e. Parameter lain				
Aliran dasar	Q_b	=	6.40	m ³ /det.
Koefisien reduksi	B	=	1.19	
Indeks infiltrasi	f	=	10.49	mm/jam
f. Kurva hidrograf				
Koefisien penampungan	K	=	3.38	
Persamaan kurva naik ($0 \leq T \leq TR$)	Linier			
Persamaan kurva turun ($TR < T \leq T_b$)	$Q(T) = Q_{pes} e^{-K(T - TR)}$			

Tabel 5.32 HSS GAMA I DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.20	4320.74	0.71	2556.33
3	1.79	2.15	7732.95	1.27	4575.14
4	2	2.02	7266.75	1.19	4299.31
5	3	1.50	5406.43	0.89	3198.67
6	4	1.12	4022.35	0.66	2379.79
7	5	0.83	2992.61	0.49	1770.56
8	6	0.62	2226.49	0.37	1317.28
9	7	0.46	1656.50	0.27	980.05
10	8	0.34	1232.43	0.20	729.15
11	9	0.25	916.92	0.15	542.49
12	10	0.19	682.18	0.11	403.61
13	11	0.14	507.54	0.08	300.28
14	12	0.10	377.61	0.06	223.41
15	13	0.08	280.94	0.05	166.22
16	14	0.06	209.02	0.03	123.66
17	15	0.04	155.51	0.03	92.00
18	16	0.03	115.70	0.02	68.45
19	17	0.02	86.08	0.01	50.93
20	18	0.02	64.04	0.01	37.89
21	19	0.01	47.65	0.01	28.19
22	20	0.01	35.45	0.01	20.97
23	21	0.01	26.37	0.00	15.60
24	21.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			40362.24		23880.00
Luas DAS (m^2)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.69		1.00



Gambar 5.39 HSS GAMA I DAS Bahomoleo

Parameter yang digunakan utamanya berdasarkan karakteristik DAS dan karakteristik jaringan sungai. Karakteristik DAS meliputi luas DAS, luas DAS hulu, lebar DAS $3/4L$ dan lebar DAS $1/4L$. Karakteristik jaringan sungai meliputi panjang sungai utama, kemiringan sungai, panjang sungai tingkat satu, panjang sungai semua tingkat, jumlah segmen sungai tingkat satu, jumlah segmen sungai semua tingkat, dan jumlah pertemuan sungai.

Kurva HSS GAMA I, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.39 dan Tabel 5.32, dibentuk oleh dua persamaan, yakni sisi naik dengan persamaan linier dan sisi turun dengan persamaan eksponensial. Mengingat bahwa bahwa persamaan eksponensial tidak menghasilkan debit sama dengan 0, maka akhir hidrograf dibatasi oleh persamaan waktu dasar. Oleh karena itu persamaan sisi resesi pada Model HSS GAMA I tidak murni persamaan eksponensial.

Umumnya kinerja Model HSS GAMA I menunjukkan kinerja yang lebih baik dari 3 model HSS sebelumnya seperti ditampilkan pada Tabel 5.33, walaupun beberapa DAS menunjukkan kinerja yang rendah pada salah satu parameter terutama parameter debit puncak. Bila dicermati terhadap parameter DAS yang digunakan, diperkirakan ada pengaruh jumlah parameter yang digunakan terhadap kinerja model. Secara teoritis semakin banyak parameter yang digunakan tingkat akurasi model akan semakin baik. Namun demikian, pada berbagai kasus hal ini sulit diverifikasi akibat masing-masing parameter memiliki sifat yang berbeda dan kompleksnya proses transformasi hujan menjadi debit di DAS.

Tabel 5.33 Penyimpangan parameter Model HSS GAMA I

No.	Nama DAS	Parameter HSS GAMA I			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	1.3	1.8	20.2	1.6	1.4	12.0	19.6	32.6	68.5
2	Pinamula	2.8	1.7	19.8	2.5	2.1	16.0	10.8	17.5	23.8
3	Toaya	3.3	2.5	21.0	2.8	2.7	18.0	18.6	8.1	16.9
4	Bangga	3.8	1.9	19.9	3.2	2.2	16.0	20.6	13.2	24.5
5	Singkoyo	5.2	2.6	21.7	4.1	3.2	26.0	25.9	16.6	16.6
6	Tambun	6.6	1.8	19.1	4.6	2.5	24.0	44.0	29.6	20.4
7	Malino	6.7	2.0	19.3	5.0	2.4	24.0	34.1	18.8	19.6
8	Bunta	6.6	1.8	20.7	4.8	3.3	28.0	39.0	44.6	25.9

5.5.5 HSS ITS-1

HSS ITS-1 sebagaimana dikembangkan oleh Lasidi, dkk. (2003) dibentuk oleh sebuah persamaan untuk menggambarkan hidrograf aliran. Contoh perhitungan menggunakan cara ini disajikan berikut ini (DAS Bahomoleo). Rekapitulasi hasil perhitungan pada masing-masing DAS disajikan pada Tabel 5.34 dan Lampiran C.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

a. Luas DAS	A	=	23.88	km ²
b. Panjang sungai utama	L	=	10.32	km
c. Kemiringan sungai	S	=	0.07639	km
d. Faktor simetri	SIM	=	0.48	
e. Faktor sumber	SF	=	0.47	
f. Faktor lebar	WF	=	0.74	
g. Jumlah pertemuan sungai	JN	=	32	

2) Parameter HSS ITS-1

a. Waktu puncak (T_p)

$$T_p = 0.06003 * L + 4.1619 * SIM + 19.1415 * SF - 12.6165$$

$$T_p = 1.05 \text{ jam}$$

b. Debit puncak (Q_p)

$$Q_p = 8.39737 * (A/L)^{2.42256} * WF^{-0.55581} * SIM^{1.26217} * JN^{-0.66405}$$

$$Q_p = 2.98 \text{ m}^3/\text{det}$$

c. Waktu dasar (T_b)

$$T_b = 3.45351 * A^{-0.20651} * L^{0.7277} * S^{-0.14111}$$

$$T_b = 14.09 \text{ jam}$$

d. Kurva hidrograf

Koefisien alpha

$$r1 = 2$$

Koefisien beta

$$s1 = 0.73$$

$$S = 5.72481 * A^{-1.01227} * T_p^{1.02765} * Q_p^{1.01502}$$

Koefisien gamma

$$x1 = 0.74$$

$$\chi = 5.7502 * A^{-1.01353} * T_p^{1.02385} * Q_p^{1.01777}$$

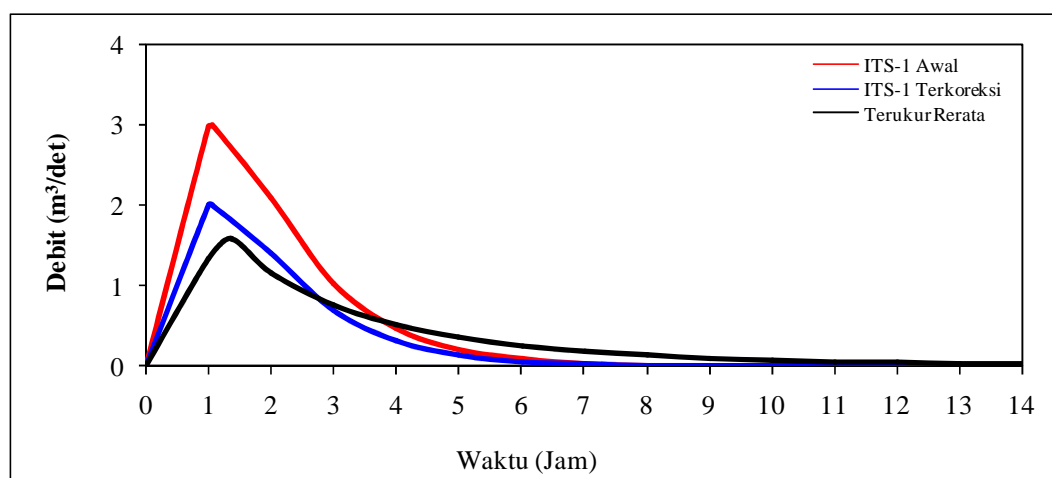
Persamaan kurva ($0 \leq T \leq T_b$)

$$q(t) = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{r1} \exp\left[-\frac{t}{T_p} \left\{1 - \left(\frac{t}{T_p}\right)^{s1}\right\}^{x1}\right]$$

Secara umum persamaan pada Model HSS ITS-1 mirip dengan persamaan pada Model HSS GAMA I terutama persamaan debit puncak, waktu puncak, dan waktu dasar. Bahkan bila dicermati lebih lanjut, ketiga parameter pada model HSS ITS-1 menggunakan parameter yang hampir sama dengan Model HSS GAMA I.

Tabel 5.34 HSS ITS-1 DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2.98	10718.78	2.00	7187.85
3	1.05	2.98	10738.46	2.00	7201.04
4	2	2.09	7518.72	1.40	5041.94
5	3	1.04	3727.51	0.69	2499.61
6	4	0.46	1665.30	0.31	1116.72
7	5	0.20	715.62	0.13	479.88
8	6	0.08	303.23	0.06	203.34
9	7	0.04	128.13	0.02	85.92
10	8	0.02	54.28	0.01	36.40
11	9	0.01	23.13	0.00	15.51
12	10	0.00	9.92	0.00	6.65
13	11	0.00	4.29	0.00	2.88
14	12	0.00	1.87	0.00	1.25
15	13	0.00	0.82	0.00	0.55
16	14	0.00	0.36	0.00	0.24
17	15	0.00	0.16	0.00	0.11
18	16	0.00	0.07	0.00	0.05
19	17	0.00	0.03	0.00	0.02
20	18	0.00	0.02	0.00	0.01
21	19	0.00	0.01	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			35610.72		23880.00
Luas DAS (m ²)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.49		1.00



Gambar 5.40 HSS ITS-1 DAS Bahomoleo

Hal lain yang menarik untuk diamati pada Model HSS ITS-1 ini adalah koefisien r , S dan x yang berfungsi mengontrol bentuk kurva hidrograf. Koefisien r berperan dalam menentukan kelancipan puncak hidrograf, koefisien S berperan dalam mengontrol sisi resesi dan parameter x berperan dalam mengontrol sisi naik. Ketiga koefisien tersebut bekerja secara simultan dalam mengontrol bentuk kurva hidrograf (Gambar 5.40). Koefisien r ditetapkan sebagai bilangan konstan (2) sedangkan koefisien S dan x dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai fungsi dari luas DAS, waktu puncak dan debit puncak.

Tabel 5.35 Penyimpangan parameter Model HSS ITS-1

No.	Nama DAS	Parameter HSS ITS-1			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	2.0	1.0	14.1	1.6	1.4	12.0	26.6	22.4	17.4
2	Pinamula	3.3	1.6	18.4	2.5	2.1	16.0	32.0	25.7	14.9
3	Toaya	3.3	3.8	20.2	2.8	2.7	18.0	17.2	40.0	12.0
4	Bangga	4.3	2.0	15.6	3.2	2.2	16.0	35.7	7.7	2.5
5	Singkoyo	5.6	4.2	21.9	4.1	3.2	26.0	35.8	33.8	15.8
6	Tambun	6.7	2.2	15.8	4.6	2.5	24.0	46.5	10.7	34.0
7	Malino	9.0	2.3	14.9	5.0	2.4	24.0	81.2	7.4	38.0
8	Bunta	4.7	0.7	21.0	4.8	3.3	28.0	1.0	78.3	25.1

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, HSS ITS-1 menghasilkan penyimpangan relatif besar pada parameter debit puncak sampai 81.2% seperti terlihat pada Tabel 5.35. Namun pada sisi lain, dua parameter lainnya yaitu waktu puncak dan waktu dasar memperlihatkan kinerja relatif baik dengan penyimpangan dominan di bawah 40%. Bila dicermati rendahnya kinerja pada parameter debit puncak, sebenarnya tidak terkait sama sekali dengan persamaan kurva tunggal yang digunakan untuk membentuk hidrograf. Koefisien r , S dan x hanya berperan dalam menentukan kemiringan sisi naik dan sisi resesi dan sama sekali tidak berperan dalam menentukan debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Debit puncak pada persamaan HSS ITS-1 hanya ditentukan oleh luas DAS, panjang sungai utama, faktor lebar DAS (WF), faktor simetri (SIM) dan jumlah pertemuan sungai (JN).

5.5.6 HSS Limantara

Sebagaimana disampaikan secara implisit oleh penyusunnya (Limantara, 2009), HSS Limantara dikembangkan untuk meningkatkan kinerja model dengan menyederhanakan jumlah parameter yang digunakan. Merujuk pada persamaan yang disusun, HSS Limantara menggunakan 5 buah parameter DAS yakni luas DAS, panjang sungai utama, panjang sungai utama sampai titik berat DAS, kemiringan sungai dan koefisien kekasaran DAS. Empat (4) parameter pertama penentuannya relatif mudah sedangkan parameter yang terakhir penetapannya relatif sulit apalagi jika penggunaan lahan di DAS sangat beragam. Namun demikian data pendukung untuk menentukan parameter ini pada dasarnya dapat diperoleh dengan mudah berupa citra penggunaan lahan hasil peliputan satelit.

Berikut ini disajikan contoh perhitungan HSS Limantara pada DAS Bahomoleo dengan rekapitulasi perhitungan disajikan pada Tabel 5.36 dan Lampiran C.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

a. Luas DAS	A	=	23.88	km ²
b. Panjang sungai utama	L	=	10.32	km
c. Panjang sungai utama dari titik berat DAS – <i>outlet</i>	L_c	=	6.11	km
d. Kemiringan sungai	S	=	0.07639	
e. Koefisien kekasaran DAS	n	=	0.07	

2) Parameter HSS Limantara

a. Waktu puncak (T_p)

$$T_p = T_g + 0.8T_r$$

Tenggang waktu konsentrasi

$$\text{Jika } L < 15 \text{ km, } T_g = 0.21 * L^{0.7}$$

$$\text{Jika } L > 15 \text{ km, } T_g = 0.4 + 0.058 * L$$

$$T_r = 0.75 * T_g$$

$$T_g = 1.08 \text{ jam}$$

$$= 0.81 \text{ jam}$$

$$T_p = 1.72 \text{ jam}$$

b. Debit puncak (Q_p)

$$Q_p = 0.042 * A^{0.451} * L^{0.497} * L_c^{0.356} * S^{-0.131} * n^{0.168}$$

$$Q_p = 0.96 \text{ m}^3/\text{det}$$

c. Kurva hidrograf

Persamaan kurva naik ($0 \leq T \leq T_p$)

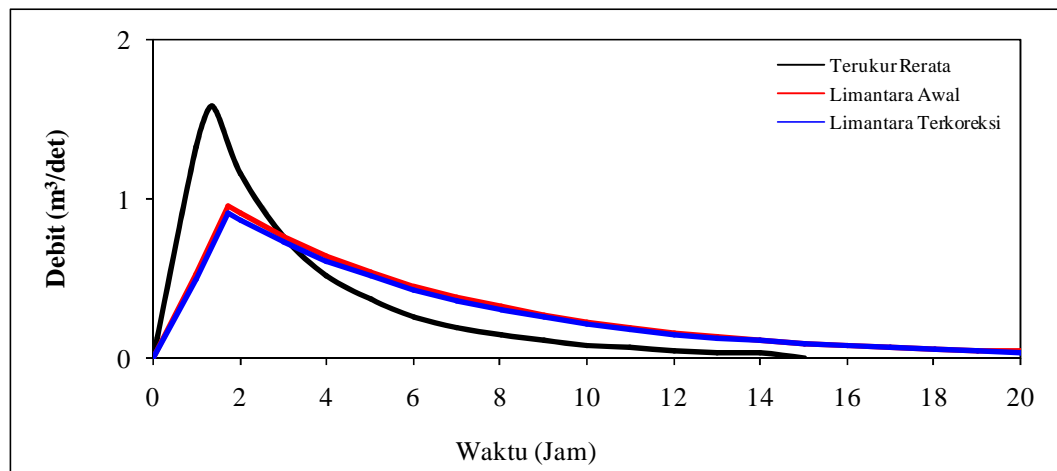
$$Q^n = Q_p \left\{ \left(\frac{T}{T_p} \right)^{1.107} \right\}$$

Persamaan kurva turun ($T_p \leq T \leq T_b$)

$$Q^n = \exp \left\{ -0.175 \left(\frac{T - T_p}{T_p} \right) \right\}$$

Tabel 5.36 HSS Limantara DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.52	1887.43	0.50	1786.19
3	1.72	0.96	3442.52	0.90	3257.88
4	2	0.91	3278.47	0.86	3102.63
5	3	0.76	2752.13	0.72	2604.52
6	4	0.64	2310.30	0.61	2186.38
7	5	0.54	1939.40	0.51	1835.38
8	6	0.45	1628.04	0.43	1540.72
9	7	0.38	1366.67	0.36	1293.37
10	8	0.32	1147.26	0.30	1085.73
11	9	0.27	963.08	0.25	911.42
12	10	0.22	808.46	0.21	765.10
13	11	0.19	678.67	0.18	642.27
14	12	0.16	569.71	0.15	539.16
15	13	0.13	478.25	0.13	452.60
16	14	0.11	401.47	0.11	379.94
17	15	0.09	337.02	0.09	318.94
18	16	0.08	282.91	0.07	267.74
19	17	0.07	237.49	0.06	224.75
20	18	0.06	199.36	0.05	188.67
21	19	0.05	167.36	0.04	158.38
22	20	0.04	140.49	0.04	132.95
23	21	0.03	117.93	0.03	111.61
24	22	0.03	99.00	0.03	93.69
25	23	0.02	83.11	0.02	78.65
Jumlah Volume (m^3)			25233.42		23880.00
Luas DAS (m^2)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.06		1.00



Gambar 5.41 HSS Limantara DAS Bahomoleo

Hal menarik dicermati pada Model HSS Limantara adalah selisih antara debit hasil perhitungan awal dengan debit hasil koreksi relatif sangat kecil (Gambar 5.41). Artinya bahwa hujan perbandingan antara volume limpasan langsung dengan volume hujan mendekati 1. Oleh karena itu sifat ini dapat menjadikan ciri spesifik dari HSS Limantara terutama pada 8 DAS yang dievaluasi. Namun untuk menguatkan analisis ini, verifikasi perlu dilakukan pada berbagai ukuran DAS di berbagai lokasi.

Kurva HSS Limantara dibentuk oleh 2 buah persamaan yakni persamaan pada sisi naik dan persamaan pada sisi turun. Persamaan pada sisi naik merupakan persamaan berpangkat desimal menghasilkan kurva geometrik yang tidak linier, dimaksudkan untuk menggambarkan sisi naik hidrograf yang tidak linier. Sifat ini agak berbeda dengan persamaan sisi naik pada HSS GAMA I. Persamaan pada sisi resesi merupakan persamaan eksponensial sebagai fungsi dari waktu puncak, relatif mirip dengan persamaan yang digunakan pada HSS GAMA I.

Berbeda dengan beberapa hidrograf yang telah dibahas sebelumnya, HSS Limantara memberikan kinerja relatif baik pada parameter debit puncak dan waktu puncak, seperti diperlihatkan pada Tabel 5.37. Penyimpangan debit puncak pada 8 DAS yang diobservasi berkisar antara 1.5% sampai 42.7%, relatif lebih rendah dari HSS Snyder dan Nakayasu. Pada parameter waktu puncak, penyimpangan yang dihasilkan berkisar antara 0.4% sampai 27.5%. Namun pada parameter waktu dasar, model HSS ini menghasilkan penyimpangan yang sangat besar berkisar antara 53.6% sampai 166.7%.

Tabel 5.37 Penyimpangan parameter Model HSS Limantara

No.	Nama DAS	Parameter HSS Limantara			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	0.9	1.7	32.0	1.6	1.4	12.0	42.7	27.5	166.7
2	Pinamula	1.8	2.1	36.0	2.5	2.1	16.0	27.0	0.4	125.0
3	Toaya	2.3	2.7	38.0	2.8	2.7	18.0	16.0	0.6	111.1
4	Bangga	2.5	2.2	38.0	3.2	2.2	16.0	21.0	0.5	137.5
5	Singkoyo	4.0	3.1	42.0	4.1	3.2	26.0	1.5	0.7	61.5
6	Tambun	4.3	2.5	42.0	4.6	2.5	24.0	6.8	0.6	75.0
7	Malino	4.7	2.4	42.0	5.0	2.4	24.0	6.0	0.8	75.0
8	Bunta	5.0	3.3	43.0	4.8	3.3	28.0	4.6	0.5	53.6

5.5.7 HSS ITB-1

HSS ITB-1 merupakan salah satu HSS dengan jumlah parameter yang sangat sederhana yakni hanya menggunakan luas DAS dan panjang sungai utama. Oleh penyusunnya, HSS ITB-1 dianggap sebagai model HSS universal (Natakususmah et al., 2011), karena dapat mengadopsi berbagai persamaan waktu puncak, debit puncak dan waktu dasar yang digunakan pada model-model HSS yang lain. Berikut ini disajikan contoh perhitungan HSS ITB-1 pada DAS Bahomoleo, dengan rekapitulasi perhitungan disajikan pada Tabel 5.38 dan Lampiran C.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

a. Luas daerah aliran sungai (A)	=	23.88	km ²
b. Panjang sungai utama (L)	=	10.32	km
c. Tinggi hujan satuan (R)	=	1	mm
d. Durasi hujan satuan (T_r)	=	1	jam

2) Parameter HSS ITB-1

a. Waktu puncak (T_p)			
$T_p = C_t * 0.81225 * L^{0.6}$			
Koefisien waktu	C_t	=	1
	T_p	=	3.29 jam
b. Waktu dasar (T_b)			
	T_b/T_p	=	10 Rasio
	T_b	=	32.94 jam
c. Debit puncak (Q_p)			
Koefisien puncak (C_p)		=	1.5
Koefisien alpha (γ)		=	1
Luas kurva hidrograf, A_{hss} (KOL5)		=	1.615
$Q_p = R_0 / (3.6 * T_p) * (A / A_{hss})$		=	1.25 m ³ /s
Volume hujan ($V = R * A * 1000$)		=	23880 m ³
V_{hss} (KOL.7)		=	23880.000 m ³
$DRO = V_{hss} / A / 1000$		=	1 mm
c. Kurva Hidrograf			

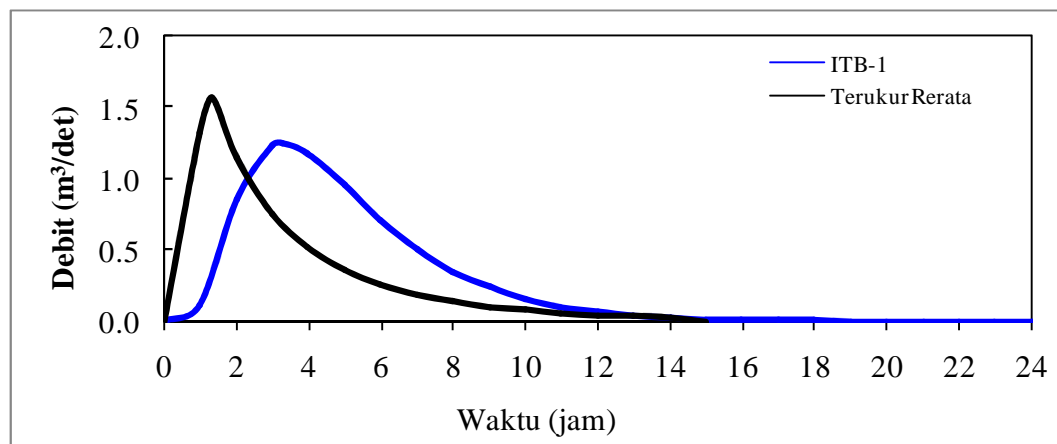
Persamaan kurva hidrograf ($0 \leq t \leq T/T_b$)

$$q(t) = \exp\left(2 - t - \frac{1}{t}\right)$$

HSS ITB-1 menggunakan persamaan tunggal untuk membentuk kurva hidrograf (Gambar 5.42). Bentuk persamaan ini paralel dengan persamaan yang digunakan pada Model HSS ITS-1, walaupun parameter yang digunakan tidak sama, dimana bentuk kurva pada persamaan ini hanya dikontrol oleh 2 buah parameter yaitu parameter γ dan C_p .

Tabel 5.38 HSS ITB-1 DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.30	0.09	0.01	0.11	204.178
3	2	0.61	0.68	0.12	0.85	1736.438
4	3	0.91	0.99	0.25	1.23	3746.786
5	3.29	1.00	1.00	0.09	1.25	1312.683
6	4	1.21	0.94	0.21	1.18	3079.169
7	5	1.52	0.77	0.26	0.96	3841.910
8	6	1.82	0.57	0.20	0.72	3009.175
9	7	2.12	0.41	0.15	0.51	2206.059
10	8	2.43	0.28	0.11	0.35	1554.897
11	9	2.73	0.19	0.07	0.24	1068.611
12	10	3.04	0.13	0.05	0.16	721.914
13	11	3.34	0.09	0.03	0.11	481.789
14	12	3.64	0.06	0.02	0.07	318.664
15	13	3.95	0.04	0.01	0.05	209.343
16	14	4.25	0.02	0.01	0.03	136.804
17	15	4.55	0.02	0.01	0.02	89.029
18	16	4.86	0.01	0.00	0.01	57.744
19	17	5.16	0.01	0.00	0.01	37.351
20	18	5.46	0.00	0.00	0.01	24.105
21	19	5.77	0.00	0.00	0.00	15.527
22	20	6.07	0.00	0.00	0.00	9.986
23	21	6.37	0.00	0.00	0.00	6.413
24	22	6.68	0.00	0.00	0.00	4.114
25	23	6.98	0.00	0.00	0.00	2.636
Jumlah				1.62		23880.00
Luas DAS (m ²)						23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.42 HSS ITB-1 DAS Bahomoleo

HSS ITB-1 (termasuk ITB-2) merupakan satu-satunya HSS yang tidak memerlukan proses koreksi hujan, karena pada persamaan kurva hidrograf telah mengakomodasi proses penyeimbangan volume limpasan langsung dengan volume hujan melalui prinsip konservasi massa. Oleh karena itu pada akhir perhitungan hujan satuan yang dihasilkan selalu sama dengan 1.

Tidak jauh berbeda dengan model HSS yang telah dibahas sebelumnya, HSS ITB-1 juga menghasilkan penyimpangan dengan varian yang cukup besar terutama pada parameter waktu dasar dengan rentang 99.92% sampai 186.9% seperti ditunjukkan pada Tabel 5.39. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja Model HSS ITB-1 untuk parameter waktu dasar memiliki kinerja yang rendah pada 8 DAS yang dievaluasi. Bila ditelusuri lebih jauh, salah satu penyebab rendahnya kinerja waktu dasar pada model ini adalah kemungkinan akibat dari batasan waktu sisi resesi yang tak terhingga (∞), sedangkan persamaan kurva hidrograf pada sisi resesi tidak pernah menghasilkan debit = 0. Untuk parameter debit puncak dan waktu puncak, Model HSS ITB-1 menghasilkan kinerja relatif lebih baik dari parameter waktu dasar.

Tabel 5.39 Penyimpangan parameter Model HSS ITB-1

No.	Nama DAS	Parameter HSS ITB-1			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	1.25	3.29	32.94	1.6	1.4	12.0	21.1	144.0	174.5
2	Pinamula	2.01	4.23	42.28	2.5	2.1	16.0	19.3	101.3	164.3
3	Toaya	2.18	5.16	51.64	2.8	2.7	18.0	21.7	92.7	186.9
4	Bangga	2.69	4.36	43.65	3.2	2.2	16.0	15.2	100.2	172.8
5	Singkoyo	3.42	5.84	58.43	4.1	3.2	26.0	16.4	85.5	124.7
6	Tambun	4.15	4.90	49.00	4.6	2.5	24.0	9.5	95.2	104.2
7	Malino	4.63	4.78	47.82	5.0	2.4	24.0	7.0	96.0	99.2
8	Bunta	4.09	6.09	60.87	4.8	3.3	28.0	14.2	83.3	117.4

5.5.8 HSS ITB-2

HSS ITB-2 merupakan HSS yang identik dengan HSS ITB-1, dimana kedua model HSS ini sama-sama dikembangkan berdasarkan prinsip konservasi massa. Namun pada HSS ITB-2 ini, kurva hidrograf dibentuk oleh 2 buah persamaan yang berbeda yakni sisi naik dan sisi resesi seperti diperlihatkan pada

contoh dan rekapitulasi perhitungan (Tabel 5.41, Gambar 5.43 dan Lampiran C) . Penyimpangan yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan HSS ITB-1, dimana penyimpangan waktu dasar dan waktu puncak tidak berbeda sama sekali, kecuali parameter debit puncak seperti disajikan pada Tabel 5.40.

1) Parameter DAS (Bahomoleo)

a. Luas daerah aliran sungai	A	=	23.88	km ²
b. Panjang sungai utama	L	=	10.32	km
c. Tinggi hujan satuan	R	=	1	mm
d. Durasi hujan satuan	T_r	=	1	jam

2) Parameter HSS ITB-2

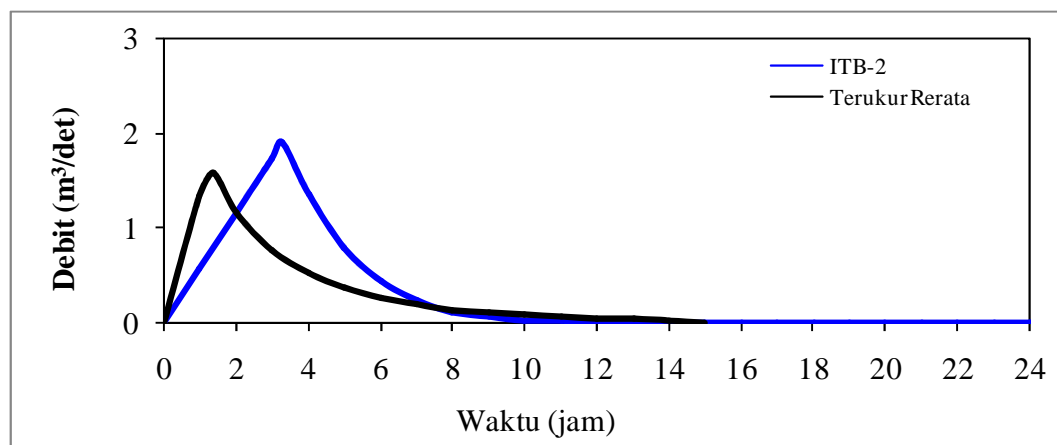
a. Waktu puncak (T_p)	$T_p = C_t * 0.81225 * L^{0.6}$			
Koefisien waktu	C_t	=	1	
	T_p	=	3.29	jam
b. Waktu dasar (T_b)				
	T_b/T_p	=	10	Rasio
	T_b	=	32.94	jam
c. Debit puncak (Q_p)				
Koefisien puncak (C_p)		=	1.5	
Koefisien alpha (α)		=	1	
Koefisien beta (β)		=	1	
Luas kurva hidrograf, A_{hss} (KOL5)		=	1.062	
$Q_p = R_0 / (3.6 * T_p) * (A / A_{hss})$		=	1.90	m ³ /s
Volume Hujan ($V = R * A * 1000$)		=	23880	m ³
V_{hss} (KOL7)		=	23880.000	m ³
$DRO = V_{hss} / A / 1000$		=	1	mm
c. Kurva Hidrograf				
Persamaan Kurva Naik ($0 \leq t \leq 1$)	$Q = Q_p * t^2 * (3 - 2t)$			
Persamaan Kurva Turun ($t > 1$)	$Q = Q_p * (2 - t)^2 * exp(-t)$			

Tabel 5.40 Penyimpangan parameter Model HSS ITB-2

No.	Nama DAS	Parameter HSS ITB-2			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	1.9	3.3	32.9	1.6	1.4	12.0	20.0	144.0	174.5
2	Pinamula	3.1	4.2	42.3	2.5	2.1	16.0	23.0	101.3	164.3
3	Toaya	3.3	5.2	51.6	2.8	2.7	18.0	19.6	92.7	186.9
4	Bangga	4.1	4.4	43.6	3.2	2.2	16.0	29.4	100.2	172.8
5	Singkoyo	5.2	5.8	58.4	4.1	3.2	26.0	27.8	85.5	124.7
6	Tambun	6.3	4.9	49.0	4.6	2.5	24.0	38.1	95.2	104.2
7	Malino	7.1	4.8	47.8	5.0	2.4	24.0	42.1	96.0	99.2
8	Bunta	6.3	6.1	60.9	4.8	3.3	28.0	31.2	83.3	117.4

Tabel 5.41 HSS ITB-2 DAS Bahomoleo

No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.30	0.30	0.05	0.58	1035.944
3	2	0.61	0.61	0.14	1.15	3107.832
4	3	0.91	0.91	0.23	1.73	5179.720
5	3.29	1.00	1.00	0.09	1.90	1919.887
6	4	1.21	0.71	0.18	1.35	4125.568
7	5	1.52	0.42	0.17	0.79	3864.469
8	6	1.82	0.23	0.10	0.44	2224.457
9	7	2.12	0.12	0.05	0.23	1213.363
10	8	2.43	0.06	0.03	0.12	629.933
11	9	2.73	0.03	0.01	0.06	312.345
12	10	3.04	0.01	0.01	0.03	148.332
13	11	3.34	0.01	0.00	0.01	67.626
14	12	3.64	0.00	0.00	0.00	29.658
15	13	3.95	0.00	0.00	0.00	12.534
16	14	4.25	0.00	0.00	0.00	5.112
17	15	4.55	0.00	0.00	0.00	2.015
18	16	4.86	0.00	0.00	0.00	0.768
19	17	5.16	0.00	0.00	0.00	0.284
20	18	5.46	0.00	0.00	0.00	0.102
21	19	5.77	0.00	0.00	0.00	0.035
22	20	6.07	0.00	0.00	0.00	0.012
23	21	6.37	0.00	0.00	0.00	0.004
24	22	6.68	0.00	0.00	0.00	0.001
25	23	6.98	0.00	0.00	0.00	0.000
Jumlah				1.06		23880.00
Luas DAS (m ²)						23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar 5.43 HSS ITB-2 DAS Bahomoleo

5.5.9 HSS ITS-2

HSS ITS-2 merupakan HSS yang dikembangkan berdasarkan karakteristik fraktal DAS. HSS ITS-2 ini, dibentuk oleh persamaan kurva tunggal seperti diperlihatkan pada contoh dan rekapitulasi perhitungan (Tabel 5.43, Gambar 5.44 dan Lampiran C). Penyimpangan yang dihasilkan relatif rendah <80% seperti pada Tabel 5.42.

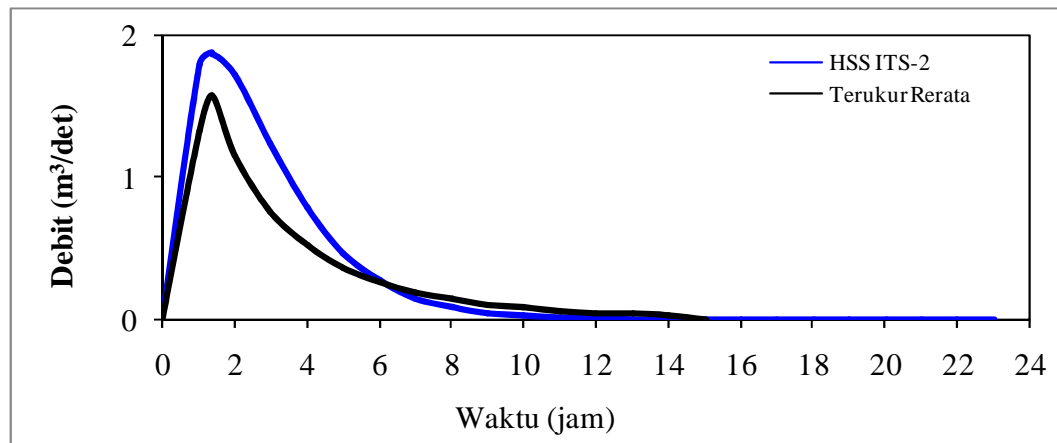
- 1) Karakteristik DAS dan Hujan
 - a. Nama sungai = Bahomoleo
 - b. Luas daerah aliran sungai (A) = 23.88 km²
 - c. Panjang sungai utama (L) = 10.32 km
 - d. Kerapatan jaringan drainase (D) = 1.8 km/km²
 - e. Kemiringan sungai utama (S) = 0.07639
 - f. Rasio panjang sungai (R_L) = 1.23
- 2) Perhitungan waktu puncak (T_p) dan waktu dasar (T_b)
 - a. Koefisien waktu puncak (C_1) = 1
 - b. Waktu puncak
 $T_p = C_1(0.102 L - 0.162 D - 0.524 R_L + 1.24)$ = 1.36 jam
 - c. Koefisien waktu dasar (C_2) = 1
 - d. Waktu dasar
 $T_b = C_2(0.136 A - 43.0 S + 11.5)$ = 11.46 jam
- 3) Debit Puncak (Q_p)
 - a. Koefisien bentuk hidrograf (C_3) = 1
 - b. Luas kurva hidrograf, A_{hss} (KOL5) = 2.619
 - c. $Q_p = R_0 / (3.6 * T_p) * (A / A_{hss})$ = 1.87 m³/s
 - d. Volume hujan ($V = R * A * 1000$) = 23880 m³
 - e. V_{hss} (KOL7) = 23880.000 m³
 - f. $DRO = V_{hss} / A / 1000$ = 1 mm

Tabel 5.42 Penyimpangan parameter Model HSS ITS-2

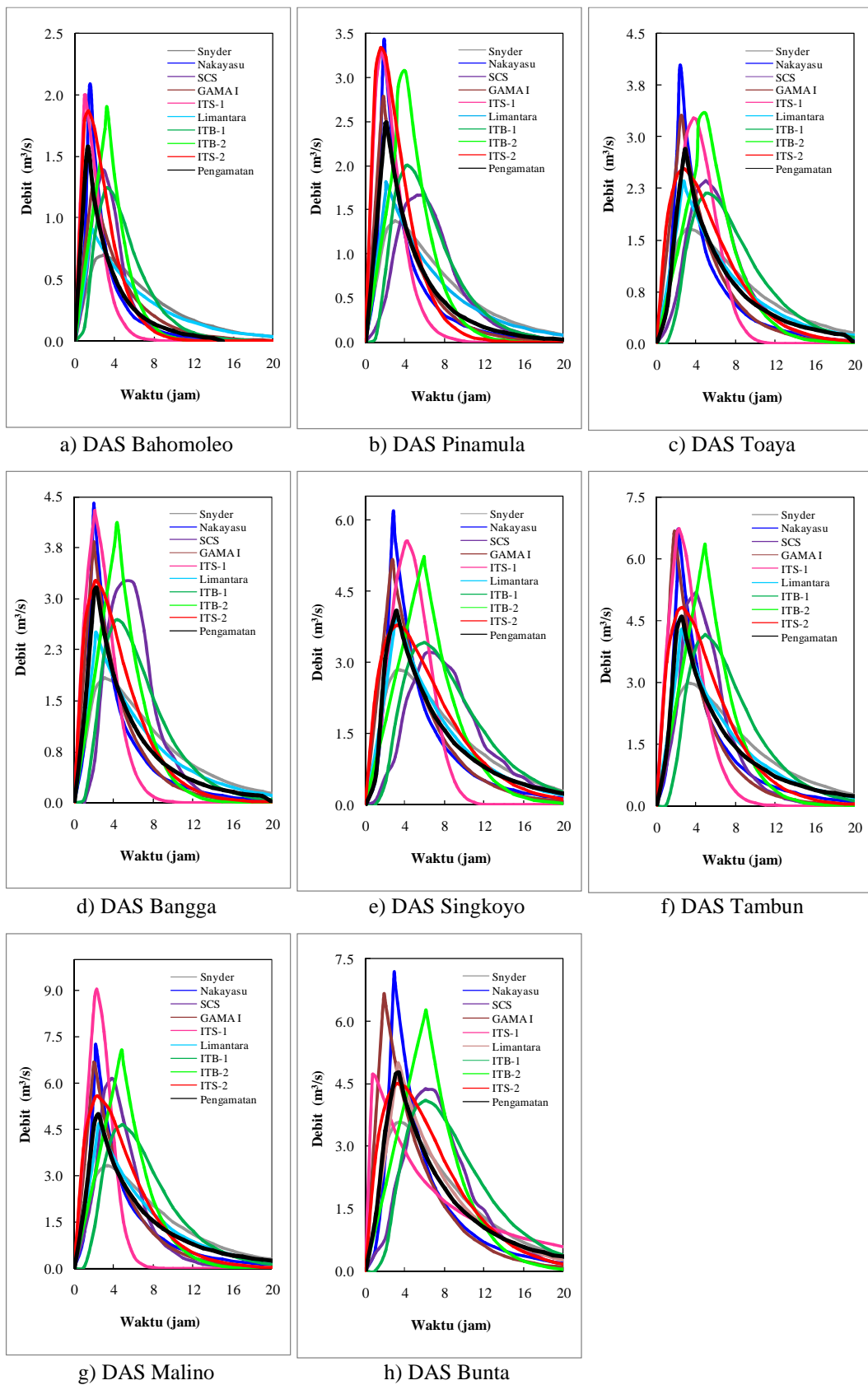
No.	Nama DAS	Parameter HSS ITS-2			Parameter HS Terukur			Penyimpangan		
		Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p m ³ /det	T_p jam	T_b jam	Q_p %	T_p %	T_b %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo	1.4	11.5	1.6	1.4	12.0	18.2	0.4	4.5	1.4
2	Pinamula	1.6	16.7	2.5	2.1	16.0	34.2	59.1	4.6	1.6
3	Toaya	2.7	17.6	2.8	2.7	18.0	9.3	0.2	2.2	2.7
4	Bangga	2.2	16.9	3.2	2.2	16.0	2.9	0.4	5.8	2.2
5	Singkoyo	3.2	25.3	4.1	3.2	26.0	7.5	0.3	2.6	3.2
6	Tambun	2.5	23.4	4.6	2.5	24.0	5.1	0.9	2.6	2.5
7	Malino	2.4	24.4	5.0	2.4	24.0	11.9	1.9	1.5	2.4
8	Bunta	3.3	28.4	4.8	3.3	28.0	5.7	0.3	1.6	3.3

Tabel 5.43 HSS ITS-2 DAS Bahomoleo

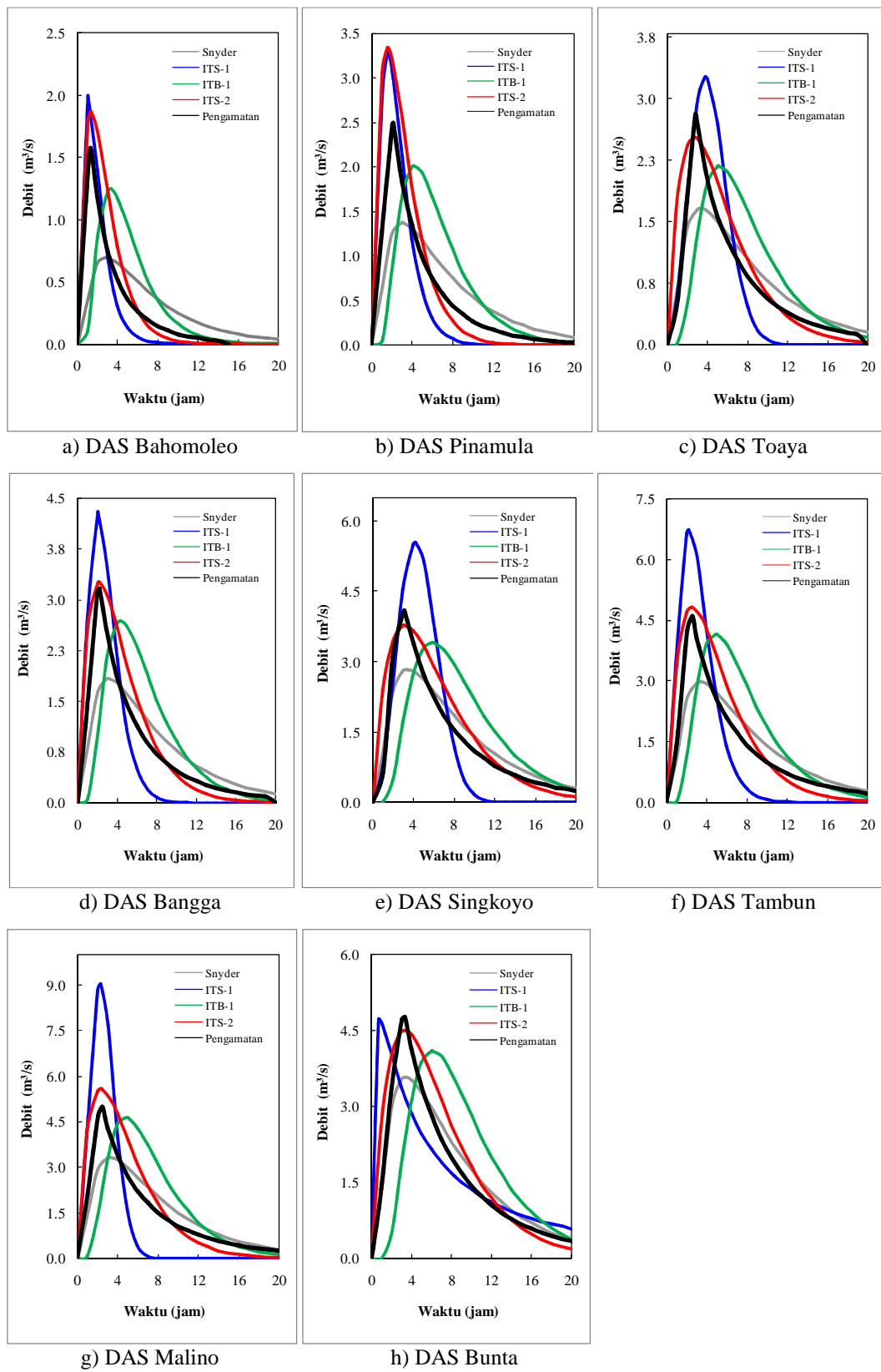
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.74	0.96	0.35	1.79	3223.661
3	1.36	1.00	1.00	0.26	1.87	2344.795
4	2	1.47	0.92	0.46	1.71	4150.907
5	3	2.21	0.66	0.58	1.23	5296.790
6	4	2.95	0.42	0.40	0.78	3624.074
7	5	3.69	0.25	0.25	0.47	2255.120
8	6	4.42	0.14	0.15	0.27	1328.205
9	7	5.16	0.08	0.08	0.15	754.674
10	8	5.90	0.04	0.05	0.08	418.076
11	9	6.64	0.02	0.02	0.04	227.288
12	10	7.37	0.01	0.01	0.02	121.782
13	11	8.11	0.01	0.01	0.01	64.501
14	12	8.85	0.00	0.00	0.01	33.842
15	13	9.59	0.00	0.00	0.00	17.617
16	14	10.32	0.00	0.00	0.00	9.111
17	15	11.06	0.00	0.00	0.00	4.685
18	16	11.80	0.00	0.00	0.00	2.398
19	17	12.54	0.00	0.00	0.00	1.222
20	18	13.27	0.00	0.00	0.00	0.620
21	19	14.01	0.00	0.00	0.00	0.314
22	20	14.75	0.00	0.00	0.00	0.158
23	21	15.49	0.00	0.00	0.00	0.080
24	22	16.22	0.00	0.00	0.00	0.040
25	23	16.96	0.00	0.00	0.00	0.020
Jumlah				2.62	23880.00	
Luas DAS (m ²)					23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



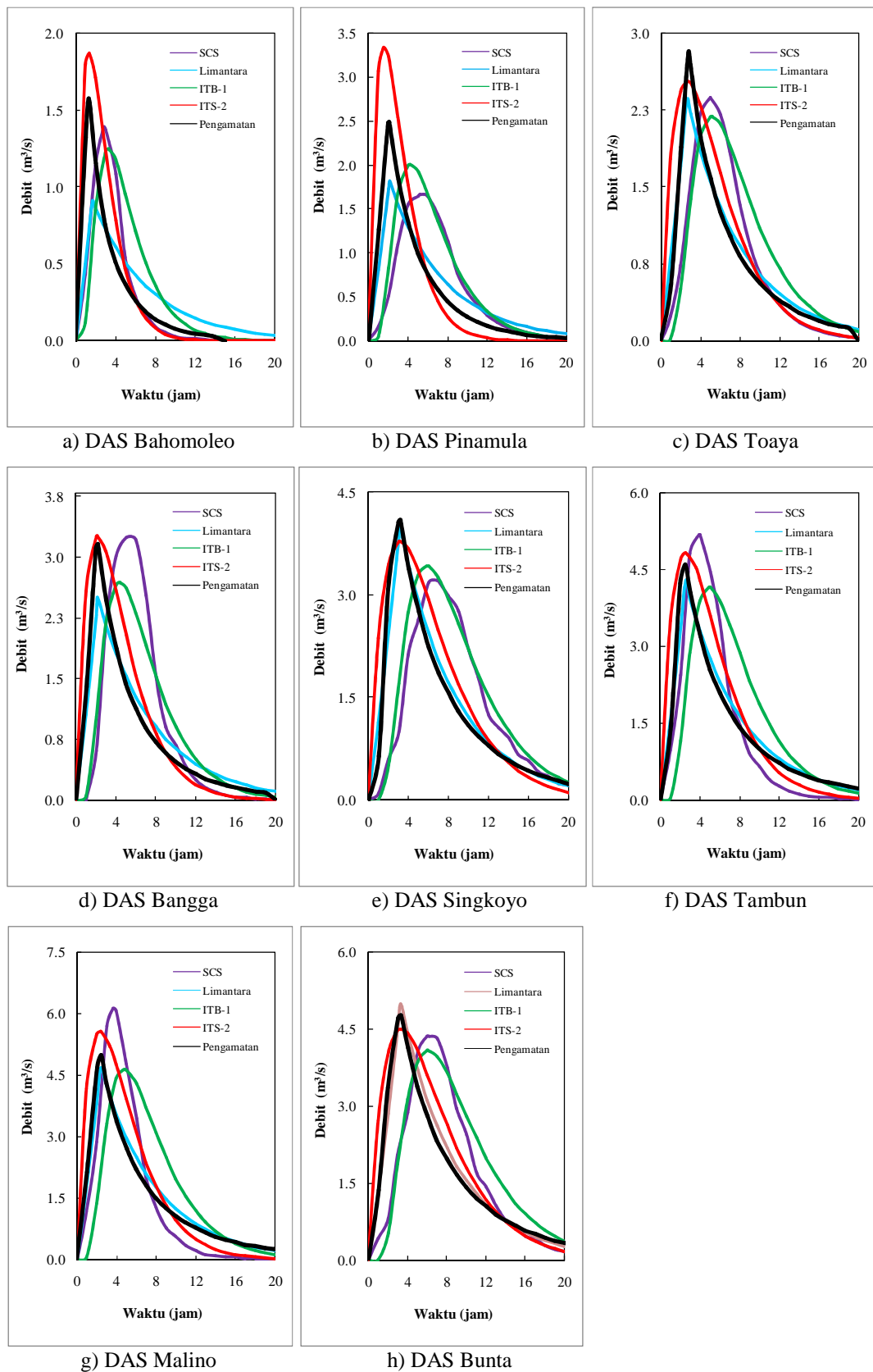
Gambar 5.44 HSS ITS-2 DAS Bahomoleo



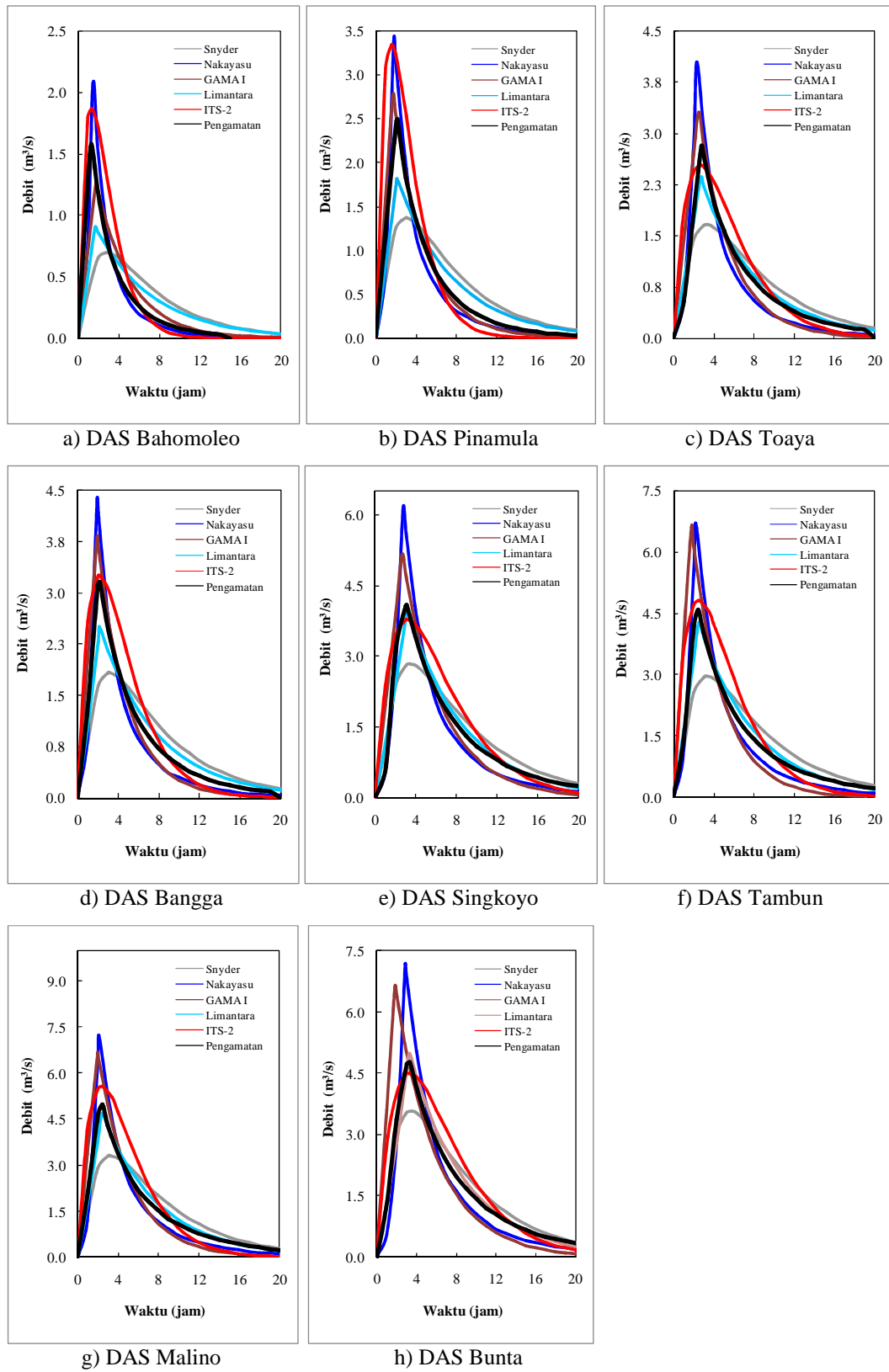
Gambar 5.45 Hidrograf satuan sintetik (9 HSS) pada 8 DAS



Gambar 5.46 HSS berdasarkan persamaan kurva tunggal pada 8 DAS



Gambar 5.47 HSS berdasarkan parameter Q_p terbaik pada 8 DAS



Gambar 5.48 HSS berdasarkan koefisien E terbaik pada 8 DAS

Rekapitulasi kurva hidrograf HSS pada 8 DAS disajikan pada Gambar 5.45–Gambar 5.48 poin a-h. Selanjutnya berdasarkan hasil analisis penyimpangan sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, masing-masing penyimpangan parameter model HSS dapat dituangkan dalam bentuk tabel yang menyajikan rekapitulasi penyimpangan setiap parameter model HSS untuk semua DAS yang dievaluasi, seperti disajikan pada Tabel 5.44–Tabel 5.46. Tabel 5.44 dan Gambar 5.49 memperlihatkan penyimpangan debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS. Sebagian model HSS yang dievaluasi memperlihatkan penyimpangan debit puncak dominan di atas 20%, dimana penyimpangan rata-rata terendah diberikan oleh HSS ITS-2 (11.85% dan penyimpangan rata-rata tertinggi diberikan oleh HSS Nakayasu (42.8%). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian model HSS dalam memperkirakan debit puncak di daerah penelitian relatif rendah.

Tabel 5.44 Penyimpangan debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan Debit Puncak, Q_p (%)								
		HSS Snyder	HSS Nakayasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Limantara	HSS ITB-1	HSS ITB-2	HSS ITS-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Bahomoleo	47.6	31.1	12.2	19.6	26.6	42.7	21.1	20.0	18.21
2	Pinamula	44.8	36.7	33.1	10.8	32.0	27.0	19.3	23.0	34.21
3	Toaya	40.4	44.7	15.1	18.6	17.2	16.0	21.7	19.6	9.32
4	Bangga	42.1	38.0	2.4	20.6	35.7	21.0	15.2	29.4	2.93
5	Singkoyo	30.7	50.0	21.4	25.9	35.8	1.5	16.4	27.8	7.48
6	Tambun	35.3	46.2	12.8	44.0	46.5	6.8	9.5	38.1	5.09
7	Malino	33.3	45.2	23.1	34.1	81.2	6.0	7.0	42.1	11.87
8	Bunta	25.2	50.3	8.5	39.0	1.0	4.6	14.2	31.2	5.66
	Rerata	37.4	42.8	16.1	26.6	34.5	15.7	15.6	28.9	11.85

Selanjutnya rekapitulasi penyimpangan waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS disajikan pada Tabel 5.45 dan Gambar 5.50. Terlihat bahwa sebagian besar model HSS memberikan penyimpangan waktu puncak di atas 20% dengan rentang 0.23% (HSS ITS-2) sampai 150.9% (HSS SCS). Berdasarkan parameter ini, 3 model HSS yaitu HSS SCS, ITB-1 dan ITB-2 memperlihatkan kinerja yang sangat rendah dengan penyimpangan rata-rata di atas 30%. Bila dibandingkan dengan penyimpangan debit puncak, 8 model HSS yang dievaluasi memberikan kinerja serupa terhadap perkiraan waktu puncak hidrograf. Hal ini

ditunjukkan dengan angka penyimpangan waktu puncak rata-rata hidrograf relatif sama dengan penyimpangan debit puncak.

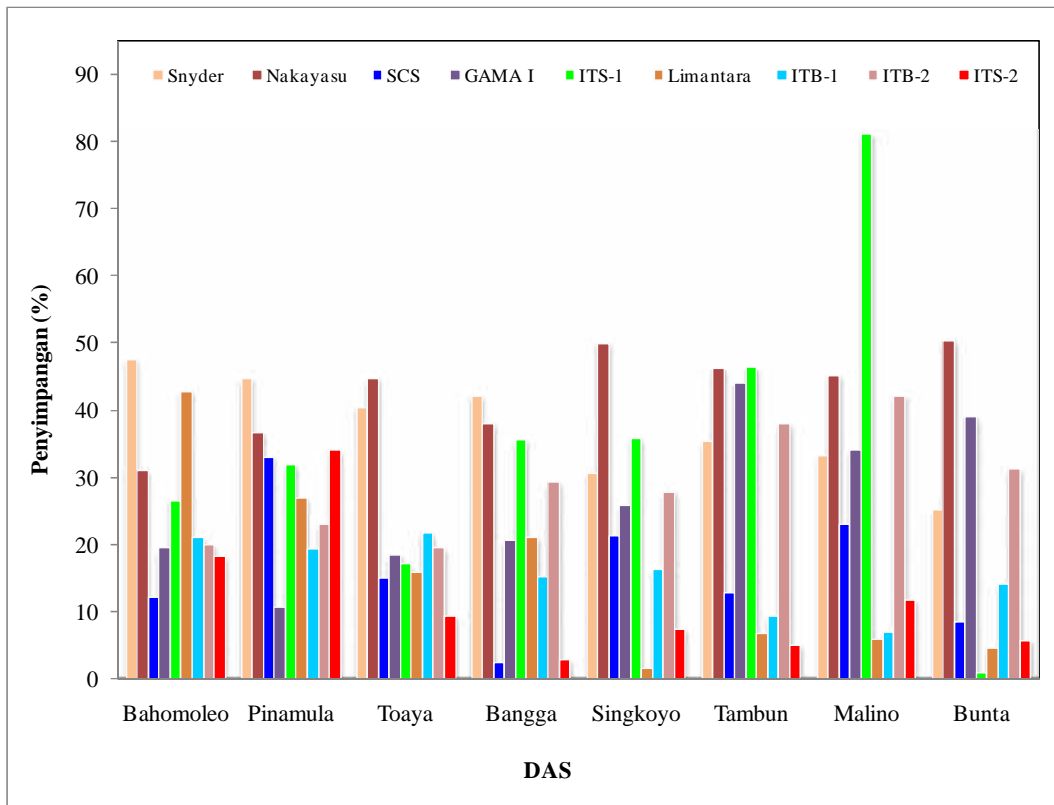
Tabel 5.45 Penyimpangan waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan Waktu Puncak, T_p (%)								
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Limantara	HSS ITB-1	HSS ITB- 2	HSS ITS-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Bahomoleo	72.8	11.5	106.6	32.6	22.4	27.5	144.0	144.0	0.45
2	Pinamula	42.3	12.9	150.9	31.4	25.7	0.4	101.3	101.3	59.13
3	Toaya	23.7	13.0	86.8	8.1	40.0	0.6	92.7	92.7	0.23
4	Bangga	42.4	12.9	64.1	13.2	7.7	0.5	100.2	100.2	0.40
5	Singkoyo	9.7	13.1	117.6	16.6	33.8	0.7	85.5	85.5	0.29
6	Tambun	33.5	13.0	56.9	29.6	10.7	0.6	95.2	95.2	0.94
7	Malino	33.3	13.2	50.1	18.8	7.4	0.8	96.0	96.0	1.91
8	Bunta	3.0	12.9	86.4	44.6	78.3	0.5	83.3	83.3	0.30
	Rerata	32.6	12.8	89.9	24.4	28.3	3.9	99.8	99.8	7.96

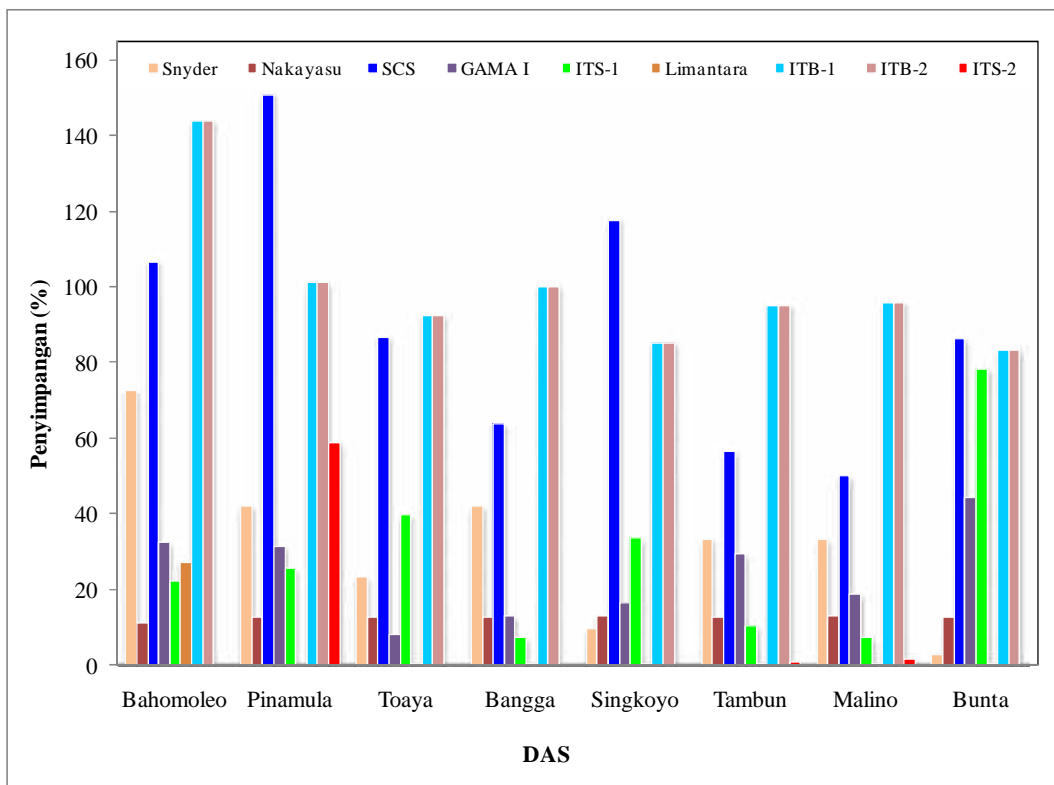
Tabel 5.46 Penyimpangan waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetik 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan Waktu Dasar, T_b (%)								
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Limantara	HSS ITB-1	HSS ITB- 2	HSS ITS-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Bahomoleo	558.3	58.3	16.2	68.5	17.4	166.7	174.5	174.5	4.48
2	Pinamula	406.0	62.5	64.7	23.8	14.9	125.0	164.3	164.3	4.63
3	Toaya	355.2	88.9	39.1	16.9	12.0	111.1	186.9	186.9	2.22
4	Bangga	408.2	87.5	11.8	24.5	2.5	137.5	172.8	172.8	5.79
5	Singkoyo	216.8	15.4	31.8	16.6	15.8	61.5	124.7	124.7	2.62
6	Tambun	241.9	25.0	17.9	20.4	34.0	75.0	104.2	104.2	2.59
7	Malino	240.7	50.0	23.7	19.6	38.0	75.0	99.2	99.2	1.50
8	Bunta	193.8	32.1	10.5	25.9	25.1	53.6	117.4	117.4	1.60
	Rerata	327.6	52.5	27.0	27.0	20.0	100.7	143.0	143.0	3.18

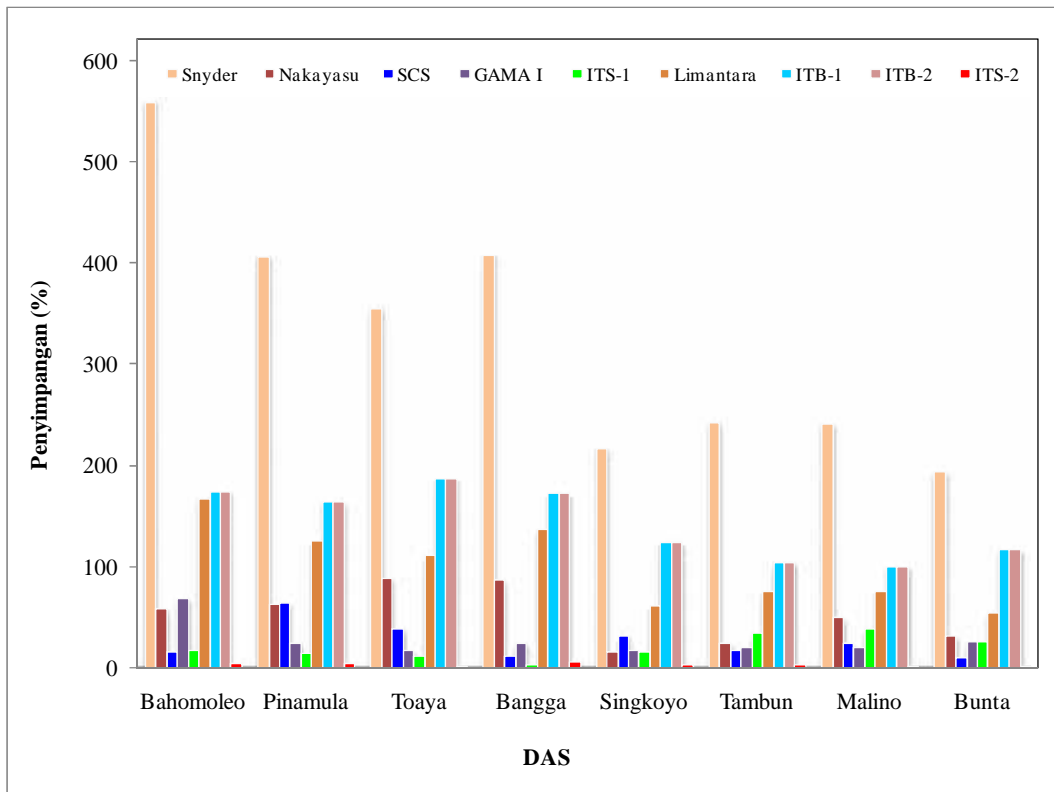
Tabel 5.46 dan Gambar 5.51 menyajikan penyimpangan waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetik 8 DAS. Berdasarkan parameter ini, sebagian besar model HSS juga memperlihatkan relatif rendah, kecuali HSS ITS-2. Empat (4) model HSS yakni HSS Snyder, HSS Limantara, HSS ITB-1, dan HSS ITB- 2 memperlihatkan kinerja yang sangat rendah dengan penyimpangan rata-rata di atas 100%.



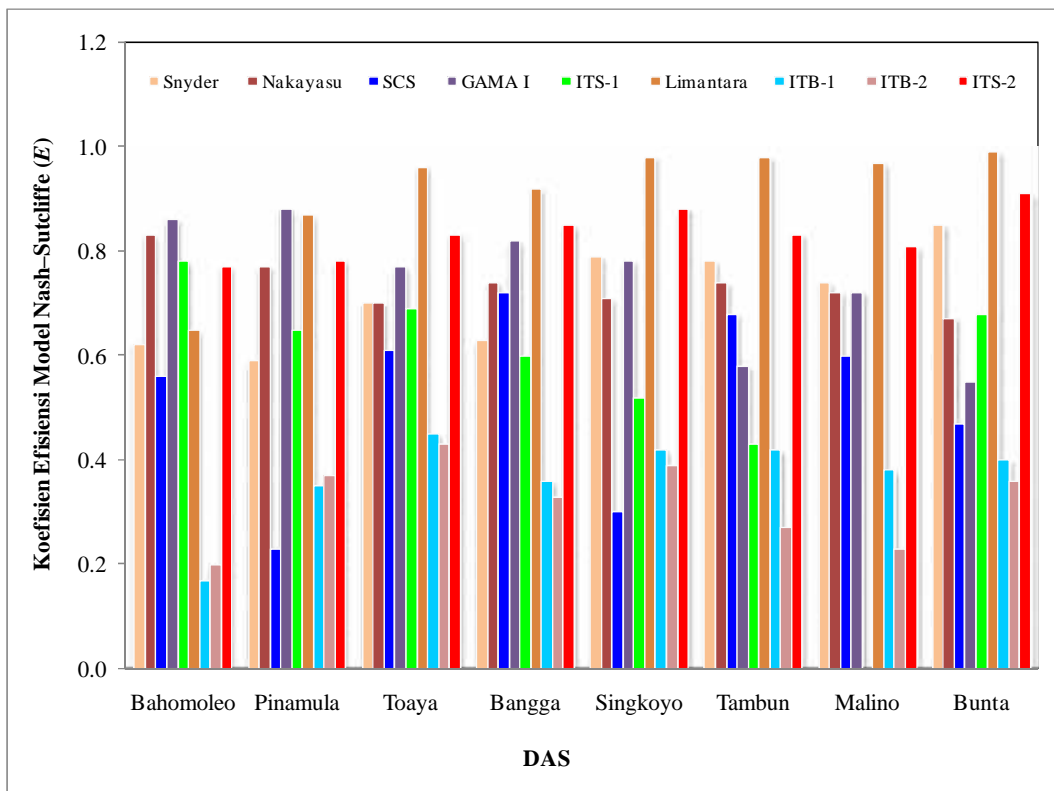
Gambar 5.49 Penyimpangan debit puncak (Q_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS



Gambar 5.50 Penyimpangan waktu puncak (T_p) hidrograf satuan sintetik 8 DAS



Gambar 5.51 Penyimpangan waktu dasar (T_b) hidrograf satuan sintetik 8 DAS



Gambar 5.52 Koeffisien Efisiensi Model Nash-Sutcliffe (E) 8 DAS

Secara umum hasil kajian tersebut memperlihatkan bahwa sebagian besar model HSS yang ditinjau memperlihatkan kinerja relatif rendah terhadap ketiga parameter model HSS yaitu debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Rendahnya kinerja yang dihasilkan menunjukkan bahwa model HSS tersebut perlu dilakukan penyesuaian-penyesuaian terutama parameter yang bergantung pada sifat dan karakteristik DAS yang ditinjau. Hal ini dapat dipahami bahwa 8 model HSS tersebut kemungkinan tidak memiliki sifat yang mirip dengan sifat DAS yang diobservasi (Sri Harto, 1985). Selain itu juga, keterwakilan parameter DAS yang digunakan pada model HSS tersebut mungkin juga dapat menjadi penyebab rendahnya kinerja terhadap 3 parameter utama hidrograf.

Tabel 5.47 Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) kurva hidrograf satuan sintetik 8 DAS

No	Nama DAS	Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E)								
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Liman-tara	HSS ITB-1	HSS ITB- 2	HSS ITS-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	Bahomoleo	0.62	0.83	0.56	0.86	0.78	0.65	0.17	0.20	0.77
2	Pinamula	0.59	0.77	0.23	0.88	0.65	0.87	0.35	0.37	0.78
3	Toaya	0.70	0.70	0.61	0.77	0.69	0.96	0.45	0.43	0.83
4	Bangga	0.63	0.74	0.72	0.82	0.60	0.92	0.36	0.33	0.85
5	Singkoyo	0.79	0.71	0.30	0.78	0.52	0.98	0.42	0.39	0.88
6	Tambun	0.78	0.74	0.68	0.58	0.43	0.98	0.42	0.27	0.83
7	Malino	0.74	0.72	0.60	0.72	-0.12	0.97	0.38	0.23	0.81
8	Bunta	0.85	0.67	0.47	0.55	0.68	0.99	0.40	0.36	0.91
	Rerata	0.71	0.74	0.52	0.75	0.53	0.92	0.37	0.32	0.83

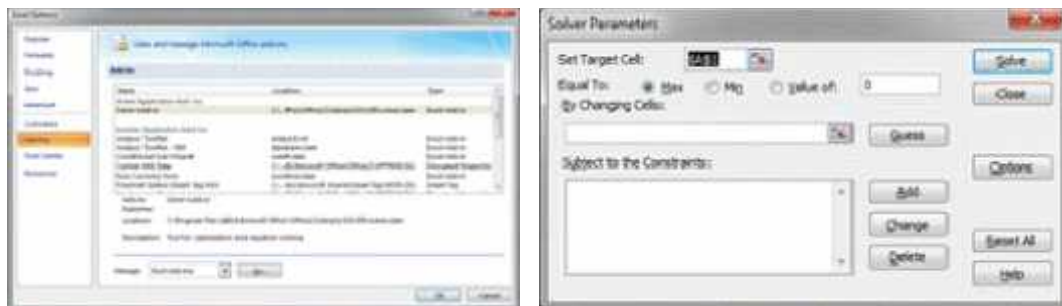
Berdasarkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E), dapat diketahui tingkat kesesuaian masing-masing kurva hidrograf satuan sintetik dengan hidrograf satuan terukur pada setiap DAS yang diobservasi. Tingkat kesesuaian kurva hidrograf dinyatakan dengan koefisien E seperti pada Tabel 5.47 dan Gambar 5.52. Terlihat bahwa Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) dari model HSS yang dievaluasi bervariasi pada setiap DAS dengan rentang -0.12 sampai 0.99, dan nilai E rerata pada kisaran 0.32–0.92. Koefisien E yang rendah menunjukkan kesesuaian kurva hidrograf model yang rendah terhadap kurva hidrograf satuan terukur, dan sebaliknya.

Untuk menyimpulkan derajat kesesuaian kurva tersebut, dapat digunakan Koefisien E rerata pada masing-masing model HSS yang ditinjau. Berdasarkan model HSS yang ditinjau, 5 Model HSS memperlihatkan kinerja relatif cukup baik yakni HSS Snyder ($E=0.71$), HSS Nakayasu ($E=0.74$), HSS GAMA I ($E=0.75$), HSS ITS-2 ($E=0.83$) dan HSS Limantara ($E=0.92$). Empat (4) model HSS lainnya memperlihatkan kinerja yang rendah yakni HSS SCS ($E=0.52$), HSS ITS-1 ($E=0.53$), HSS ITB-1 ($E=0.37$) dan HSS ITB- 2 ($E=0.32$).

Berdasarkan hasil analisis perbandingan kinerja tersebut, HSS ITS-2 memiliki kinerja yang lebih baik dari model HSS lainnya dengan penyimpangan debit puncak rata-rata 11.85%, penyimpangan waktu puncak rata-rata 7.96%, penyimpangan waktu dasar rata-rata 3.18% dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) 0.83. Hasil analisis ini membuktikan hipotesa bahwa kinerja model HSS dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan (menggunakan) parameter fraktal Daerah Aliran Sungai

5.6 Peningkatan Kinerja Model HSS

Peningkatan kinerja model HSS dimaksudkan untuk menurunkan penyimpangan parameter debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar hidrograf dan meningkatkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E). Namun tidak semua model HSS dapat diturunkan penyimpangan parameternya, terutama model HSS yang menetapkan parameter hidrograf tersebut berdasarkan persamaan. Peningkatan kinerja model HSS dilakukan dengan cara penyesuaian koefisien menggunakan fasilitas *Solver* pada *Microsoft Excel* (Tunas et al, 2017b). Fasilitas *Solver* dapat diaktifkan melalui *Menu Excel Option* seperti pada Gambar 5.53a dan *Solver Parameters* Gambar 5.53b berikut ini.



a) *Excel Option*

b) *Solver Parameters*

Gambar 5.53 Aktivasi fasilitas *solver* pada *Microsoft Excel*

Pada dasarnya solver merupakan salah satu fasilitas yang disediakan oleh *Microsoft Excel* untuk menyelesaikan perhitungan yang memerlukan optimasi (kalibrasi) beberapa parameter berdasarkan kondisi batas yang telah ditetapkan. Parameter yang akan dioptimasi ditetapkan berdasarkan kondisi batas (*constraint*) sebagaimana telah disyaratkan oleh masing-masing model. Optimasi didasarkan pada fungsi tujuan, dapat berupa meminimalkan dan memaksimalkan nilai fungsi atau berdasarkan suatu nilai tertentu. Kemampuan *solver* dalam melakukan optimasi dapat disesuaikan dengan mengatur batasan iterasi, presisi, toleransi, konvergensi dan asumsi yang digunakan.

Delapan (8) model HSS sebagaimana telah disebutkan sebelumnya yakni HSS Snyder, Nakayasu, SCS, GAMA I, ITS-1, Limantara, ITB-1 dan ITB-2, dioptimasi berdasarkan fungsi tujuan dengan memaksimalkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) setara dengan 1, dengan jenis dan jumlah parameter optimasi tergantung dari model HSS yang dievaluasi seperti pada Tabel 5.48 berikut ini.

Tabel 5.48 Parameter optimasi dari model HSS

No.	Model HSS	Parameter Optimasi
1	Snyder	Koefisien tampungan DAS (C_t), konstanta empiris (C_p) dan konstanta (n)
2	Nakayasu	Koefisien pengaliran (r)
3	SCS	Bilangan Curve Number (CN)
4	GAMA I	Koefisien tampungan DAS (K)
5	ITS-1	Parameter r , S dan x
6	Limantara	Koefisien kekasaran permukaan DAS (n)
7	ITB-1	Koefisien waktu (C_t), koefisien debit puncak (C_p) dan koefisien r
8	ITB-2	Koefisien waktu (C_t), koefisien debit puncak (C_p), koefisien r dan koefisien S

Hasil optimasi parameter dari 8 model HSS dengan kontrol Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E), disajikan pada Tabel 5.49–Tabel 5.56. Selain itu disajikan pula perubahan parameter debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar beserta perubahan penyimpangannya setelah dilakukan optimasi. Perubahan bernilai negatif menandakan penyimpangan menurun dan sebaliknya.

Tabel 5.49 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Snyder

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter						
		C_t	C_p	n	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Bahomoleo							
	Awal	0.8	1.2	0.2	0.8	2.3	79.0	0.62
	<i>Solver</i>	0.8	1.3	0.0	1.4	1.4	76.2	0.98
	Perubahan (%)				-74.8	-95.2	-4.2	57.60
2	Pinamula							
	Awal	0.8	1.2	0.2	1.4	3.0	81.0	0.59
	<i>Solver</i>	0.8	1.5	0.1	2.3	2.1	78.2	0.98
	Perubahan (%)				-85.4	-95.7	-4.3	66.06
3	Toaya							
	Awal	0.8	1.2	0.2	1.7	3.3	81.9	0.70
	<i>Solver</i>	0.8	1.7	0.2	2.4	3.0	80.9	0.97
	Perubahan (%)				-69.6	-53.7	-1.6	38.75
4	Bangga							
	Awal	0.8	1.2	0.2	1.8	3.1	81.3	0.63
	<i>Solver</i>	0.8	1.5	0.2	2.8	2.3	78.9	0.97
	Perubahan (%)				-75.8	-86.0	-3.7	54.36
5	Singkoyo							
	Awal	0.8	1.2	0.2	2.8	3.5	82.4	0.79
	<i>Solver</i>	0.8	1.5	0.2	3.7	3.2	81.5	0.98
	Perubahan (%)				-71.8	-92.2	-1.5	24.29
6	Tambun							
	Awal	0.8	1.2	0.2	3.0	3.3	82.0	0.78
	<i>Solver</i>	0.8	1.4	0.2	4.1	2.7	80.0	0.97
	Perubahan (%)				-70.3	-83.2	-3.6	25.21
7	Malino							
	Awal	0.8	1.2	0.2	3.3	3.3	81.8	0.74
	<i>Solver</i>	0.8	1.3	0.2	4.5	2.5	79.4	0.98
	Perubahan (%)				-68.1	-96.8	-4.1	31.63
8	Bunta							
	Awal	0.8	1.2	0.2	3.6	3.4	82.3	0.85
	<i>Solver</i>	0.8	1.4	0.2	4.3	3.1	81.4	0.98
	Perubahan (%)				-61.8	84.8	-1.6	15.28
Perubahan Rerata (%)					-72.2	-64.8	-3.1	39.1

Penyimpangan Model HSS Snyder menurun secara konsisten dengan meningkatnya koefisien E . Peningkatan koefisien E rata-rata mencapai 39.1%, pada rentang 0.97 – 0.98 (Tunas et al, 2017b).

Tabel 5.50 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Nakayasu

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter				
		r	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Bahomoleo					
	Awal	1.73	2.1	1.5	19.0	0.83
	<i>Solver</i>	2.30	1.7	1.5	23.0	0.87
	Perubahan (%)		-66.8	0.0	57.1	4.42
2	Pinamula					
	Awal	1.90	3.4	1.8	26.0	0.77
	<i>Solver</i>	2.80	2.6	1.8	32.0	0.96
	Perubahan (%)		-82.6	0.0	60.0	24.87
3	Toaya					
	Awal	1.74	4.0	2.3	34.0	0.70
	<i>Solver</i>	2.87	2.9	2.3	34.0	0.99
	Perubahan (%)		-92.1	0.0	0.0	41.15
4	Bangga					
	Awal	2.01	4.4	1.9	30.0	0.74
	<i>Solver</i>	3.14	3.3	1.9	30.0	0.97
	Perubahan (%)		-91.8	0.0	0.0	32.11
5	Singkoyo					
	Awal	1.80	6.1	2.7	30.0	0.71
	<i>Solver</i>	2.90	4.5	2.7	32.0	0.97
	Perubahan (%)		-81.8	0.0	50.0	35.85
6	Tambun					
	Awal	2.10	6.7	2.2	30.0	0.74
	<i>Solver</i>	3.35	4.9	2.2	36.0	0.99
	Perubahan (%)		-85.2	0.0	100.0	33.39
7	Malino					
	Awal	2.19	7.2	2.1	36.0	0.72
	<i>Solver</i>	3.51	5.3	2.1	38.0	0.97
	Perubahan (%)		-87.1	0.0	16.7	35.26
8	Bunta					
	Awal	1.83	7.2	2.9	37.0	0.67
	<i>Solver</i>	3.04	5.1	2.9	40.0	0.95
	Perubahan (%)		-84.0	0.0	33.3	41.45
Perubahan rerata (%)			-83.9	0.0	39.6	31.1

Pada Model HSS Nakayasu, penurunan penyimpangan hanya terjadi pada parameter debit puncak dengan meningkatnya koefisien E . Koefisien E meningkat sangat baik rata-rata sebesar 31.1% dengan kisaran 0.87 – 0.99.

Tabel 5.51 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS SCS

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter				
		CN	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Bahomoleo					
	Awal	66.00	1.4	2.8	13.9	0.56
	<i>Solver</i>	75.00	1.7	2.2	10.9	0.77
	Perubahan (%)		-50.1	-42.6	-42.2	36.16
2	Pinamula					
	Awal	66.00	1.7	5.3	26.3	0.23
	<i>Solver</i>	85.00	2.8	2.8	14.1	0.82
	Perubahan (%)		-57.6	-77.5	-81.3	254.05
3	Toaya					
	Awal	66.00	2.4	5.0	25.0	0.61
	<i>Solver</i>	70.00	2.6	4.4	22.2	0.78
	Perubahan (%)		-56.6	-24.3	-40.2	27.30
4	Bangga					
	Awal	66.00	3.2	3.6	17.9	0.72
	<i>Solver</i>	74.00	3.9	2.8	14.2	0.75
	Perubahan (%)		861.8	-53.0	-3.6	3.80
5	Singkoyo					
	Awal	66.00	3.2	6.9	34.3	0.30
	<i>Solver</i>	80.00	4.7	4.3	21.7	0.77
	Perubahan (%)		-29.5	-68.1	-47.4	157.63
6	Tambun					
	Awal	66.00	5.2	3.9	19.7	0.68
	<i>Solver</i>	69.44	5.6	3.6	17.8	0.70
	Perubahan (%)		76.2	-26.1	43.3	3.06
7	Malino					
	Awal	66.00	6.1	3.7	18.3	0.60
	<i>Solver</i>	66.50	3.6	6.1	18.1	0.68
	Perubahan (%)		19.0	196.4	4.5	13.32
8	Bunta					
	Awal	66.00	4.4	6.2	30.9	0.47
	<i>Solver</i>	76.45	4.4	5.8	22.2	0.75
	Perubahan (%)		93.0	-13.6	97.0	57.73
Perubahan rerata (%)			107.0	-13.6	-8.7	69.1

Berbeda dengan Model HSS Nakayasu, penyimpangan parameter debit puncak justru bertambah dengan naiknya E . Koefisien E setelah optimasi menjadi 0.68 – 0.82, relatif belum memuaskan walaupun peningkatan rata-rata mencapai 69.1%.

Tabel 5.52 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS GAMA I

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter				
		K	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Bahomoleo					
	Awal	3.38	1.3	1.8	20.2	0.86
	<i>Solver</i>	2.33	1.6	1.8	20.2	0.92
	Perubahan (%)		-96.8	0.0	0.0	6.25
2	Pinamula					
	Awal	3.17	2.8	1.7	19.8	0.88
	<i>Solver</i>	3.67	2.5	1.7	19.8	0.99
	Perubahan (%)		-90.5	0.0	0.0	12.70
3	Toaya					
	Awal	3.34	3.3	2.5	21.0	0.77
	<i>Solver</i>	4.85	2.6	2.5	21.0	0.97
	Perubahan (%)		-68.2	0.0	0.0	25.42
4	Bangga					
	Awal	3.03	3.8	1.9	19.9	0.82
	<i>Solver</i>	4.22	3.1	1.9	19.9	0.99
	Perubahan (%)		-90.0	0.0	0.0	20.97
5	Singkoyo					
	Awal	4.03	3.8	2.6	21.7	0.78
	<i>Solver</i>	5.88	4.1	2.6	21.7	0.98
	Perubahan (%)		-98.7	0.0	0.0	24.58
6	Tambun					
	Awal	3.15	6.6	1.8	19.1	0.58
	<i>Solver</i>	5.89	4.4	1.8	19.1	0.97
	Perubahan (%)		-91.4	0.0	0.0	66.30
7	Malino					
	Awal	3.37	6.7	2.0	19.3	0.72
	<i>Solver</i>	5.57	4.9	2.0	19.3	0.99
	Perubahan (%)		-94.2	0.0	0.0	38.36
8	Bunta					
	Awal	4.23	6.6	1.8	20.7	0.55
	<i>Solver</i>	7.72	4.5	1.8	20.7	0.92
	Perubahan (%)		-85.9	0.0	0.0	67.97
Perubahan rerata (%)			-89.4	0.0	0.0	32.8

Peningkatan koefisien E pada HSS GAMA I tercapai dengan sangat baik (rata-rata 32.8%) pada rentang 0.92 – 0.99. Peningkatan koefisien E juga diikuti dengan penurunan penyimpangan debit puncak secara signifikan.

Tabel 5.53 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITS-1

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter						
		r	s	x	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Bahomoleo							
	Awal	2.00	0.73	0.74	2.0	1.0	14.1	0.78
	<i>Solver</i>	2.00	0.44	0.44	1.4	1.0	14.1	0.99
	Perubahan (%)				-65.2	0.0	0.0	26.96
2	Pinamula							
	Awal	2.00	0.86	0.86	3.3	1.6	18.4	0.65
	<i>Solver</i>	2.00	0.46	0.46	2.2	1.6	18.4	0.94
	Perubahan (%)				-63.2	0.0	0.0	44.23
3	Toaya							
	Awal	2.00	1.96	1.96	3.3	3.8	20.2	0.69
	<i>Solver</i>	2.00	1.00	1.00	2.3	3.8	20.2	0.90
	Perubahan (%)				3.3	0.0	0.0	30.58
4	Bangga							
	Awal	2.00	1.14	1.14	4.3	2.0	15.6	0.60
	<i>Solver</i>	2.00	0.55	0.55	2.8	2.0	15.6	0.95
	Perubahan (%)				-64.3	0.0	0.0	57.28
5	Singkoyo							
	Awal	2.00	2.21	2.21	5.6	4.2	21.9	0.52
	<i>Solver</i>	2.00	0.91	0.91	3.5	4.2	21.9	0.89
	Perubahan (%)				-57.5	0.0	0.0	73.20
6	Tambun							
	Awal	2.00	1.10	1.10	6.7	2.2	15.8	0.43
	<i>Solver</i>	2.00	0.48	0.48	4.0	2.2	15.8	0.94
	Perubahan (%)				-70.4	0.0	0.0	118.62
7	Malino							
	Awal	2.00	1.73	1.73	9.0	2.3	14.9	-0.12
	<i>Solver</i>	2.00	0.49	0.49	4.4	2.3	14.9	0.96
	Perubahan (%)				-84.6	0.0	0.0	919.85
8	Bunta							
	Awal	2.00	0.16	0.16	4.7	0.7	21.0	0.68
	<i>Solver</i>	2.00	0.13	0.13	4.1	0.7	21.0	0.70
	Perubahan (%)				115.5	0.0	0.0	2.58
Perubahan rerata (%)					-35.8	0.0	0.0	159.2

Perubahan penyimpangan dan peningkatan koefisien E pada Model HSS ITS-1 mirip dengan Model HSS GAMA I dengan tingkat signifikansi yang baik. Perubahan tidak terjadi pada parameter waktu puncak dan waktu dasar hidrograf.

Tabel 5.54 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS Limantara

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter				
		n	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Bahomoleo					
	Awal	0.07	0.9	1.7	32.0	0.65
	<i>Solver</i>	0<n≤1	0.9	1.7	32.0	0.65
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
2	Pinamula					
	Awal	0.07	1.8	2.1	36.0	0.87
	<i>Solver</i>	0<n≤1	1.8	2.1	36.0	0.87
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
3	Toaya					
	Awal	0.07	2.3	2.7	38.0	0.96
	<i>Solver</i>	0<n≤1	2.3	2.7	38.0	0.96
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
4	Bangga					
	Awal	0.07	2.5	2.2	38.0	0.92
	<i>Solver</i>	0<n≤1	2.5	2.2	38.0	0.92
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
5	Singkoyo					
	Awal	0.07	4.0	3.1	42.0	0.98
	<i>Solver</i>	0<n≤1	4.0	3.1	42.0	0.98
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
6	Tambun					
	Awal	0.07	4.3	2.5	42.0	0.98
	<i>Solver</i>	0<n≤1	4.3	2.5	42.0	0.98
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
7	Malino					
	Awal	0.07	4.7	2.4	42.0	0.97
	<i>Solver</i>	0<n≤1	4.7	2.4	42.0	0.97
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.00
8	Bunta	0.07				
	Awal	1.00	5.0	3.3	43.0	0.99
	<i>Solver</i>	0<n≤1	5.0	3.3	43.0	0.99
	Perubahan (%)		0.0	0.0	0.0	0.0
Perubahan Rerata (%)			0.0	0.0	0.0	0.0

Pada HSS Limantara, semua parameter dasar hidrograf meliputi debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar serta koefisien E tidak mengalami perubahan walaupun harga n telah diganti dengan nilai yang berbeda-beda.

Tabel 5.55 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITB-1

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter						
		C_t	C_p	r	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	Bahomoleo							
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.2	3.3	32.9	0.17
	<i>Solver</i>	0.43	0.66	0.66	1.3	1.4	14.3	0.91
	Perubahan (%)				-15.5	-96.1	-89.2	442.41
2	Pinamula							
	Awal	1.00	1.50	1.00	2.0	4.2	42.3	0.35
	<i>Solver</i>	0.53	1.19	0.52	2.2	2.2	22.2	0.93
	Perubahan (%)				-32.0	-94.3	-76.4	167.92
3	Toaya							
	Awal	1.00	1.50	1.00	2.2	5.2	51.6	0.45
	<i>Solver</i>	0.53	1.24	0.61	2.3	3.1	31.4	0.92
	Perubahan (%)				-26.5	-81.5	-60.2	103.97
4	Bangga							
	Awal	1.00	1.50	1.00	2.7	4.4	43.6	0.36
	<i>Solver</i>	0.54	1.19	0.61	2.7	2.4	23.8	0.93
	Perubahan (%)				-10.2	-91.0	-71.9	155.32
5	Singkoyo							
	Awal	1.00	1.50	1.00	3.4	5.8	58.4	0.42
	<i>Solver</i>	0.56	1.21	0.61	3.6	3.3	33.0	0.94
	Perubahan (%)				-32.4	-94.4	-78.4	125.66
6	Tambun							
	Awal	1.00	1.50	1.00	4.2	4.9	49.0	0.42
	<i>Solver</i>	0.56	1.17	0.48	4.0	2.7	27.3	0.93
	Perubahan (%)				35.9	-90.9	-86.9	124.11
7	Malino							
	Awal	1.00	1.50	1.00	4.6	4.8	47.8	0.38
	<i>Solver</i>	0.53	1.15	0.44	4.3	2.5	25.3	0.94
	Perubahan (%)				88.8	-96.2	-94.5	150.83
8	Bunta							
	Awal	1.00	1.50	1.00	4.1	6.1	60.9	0.40
	<i>Solver</i>	0.54	1.18	0.50	4.2	3.3	32.9	0.95
	Perubahan (%)				-0.4	-92.9	-80.3	139.86
Perubahan Rerata (%)					0.9	-92.2	-79.7	176.3

Pada Model HSS ITB-1, penurunan penyimpangan relatif konsisten dengan meningkatnya koefisien E , walaupun parameter debit puncak tidak mengalami penurunan pada beberapa DAS seperti DAS Tambun dan Malino.

Tabel 5.56 Penyesuaian koefisien dan parameter Model HSS ITB-2

No	Nama DAS	Koefisien dan Parameter							
		C_t	C_p	r	s	Q_p (m ³ /det)	T_p (jam)	T_b (jam)	E
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	Bahomoleo								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	1.9	3.3	32.9	0.20
	<i>Solver</i>	0.02	0.73	1.05	0.50	1.6	1.2	12.0	0.98
	Perubahan (%)					-93.7	-92.3	-100.0	403.01
2	Pinamula								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	3.1	4.2	42.3	0.37
	<i>Solver</i>	0.44	1.17	1.06	0.53	2.6	1.9	18.6	0.99
	Perubahan (%)					-83.7	-88.8	-76.4	163.89
3	Toaya								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	3.3	5.2	51.6	0.43
	<i>Solver</i>	0.51	1.04	0.50	0.54	2.0	2.6	26.5	0.83
	Perubahan (%)					-26.5	-98.6	-74.8	94.61
4	Bangga								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	4.1	4.4	43.6	0.33
	<i>Solver</i>	0.43	1.06	0.50	0.48	2.4	1.9	18.8	0.87
	Perubahan (%)					-10.2	-86.4	-89.7	166.70
5	Singkoyo								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	5.2	5.8	58.4	0.39
	<i>Solver</i>	0.56	1.20	0.50	0.52	3.3	3.3	32.7	0.91
	Perubahan (%)					-32.4	-95.6	-79.4	132.34
6	Tambun								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	6.3	4.9	49.0	0.27
	<i>Solver</i>	0.54	1.19	0.50	0.49	3.8	2.6	26.3	0.93
	Perubahan (%)					35.9	-94.9	-90.7	249.15
7	Malino								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	7.1	4.8	47.8	0.23
	<i>Solver</i>	0.53	1.17	0.50	0.49	4.1	2.5	25.1	0.94
	Perubahan (%)					88.8	-97.0	-95.4	319.01
8	Bunta								
	Awal	1.00	1.50	1.00	1.00	6.3	6.1	60.9	0.36
	<i>Solver</i>	0.58	1.05	0.50	0.59	3.8	3.5	35.4	0.91
	Perubahan (%)					-0.4	-92.0	-77.4	152.42
Perubahan rerata (%)						-15.3	-93.2	-85.5	210.1

Penurunan penyimpangan pada Model HSS ITB-2 pada dasarnya serupa dengan Model HSS Snyder. Penyimpangan semua parameter hidrograf menurun dengan tingkat signifikansi yang baik seiring dengan meningkatnya koefisien E .

Sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.49 – Tabel 5.56, hampir semua model memperlihatkan peningkatan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) dengan hasil yang memuaskan mendekati 1, kecuali HSS Limantara. Parameter yang dioptimasi pada HSS Limantara adalah koefisien kekasaran permukaan DAS (n). Nilai ini berkisar antara 0 sampai 0.1 dengan tingkat sensitivitas yang rendah. Berapapun besaran koefisien ini dimasukkan pada Model HSS Limantara, untuk kasus 8 DAS yang dievaluasi tidak memberikan perubahan debit yang signifikan setelah dilakukan koreksi debit. Hal ini tidak memberikan pengaruh terhadap peningkatan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E), sehingga proses optimasi pada *solver* tidak memberikan solusi optimal. Oleh karena itu optimasi parameter pada HSS Limantara pada kasus 8 DAS ini tidak dapat dilakukan.

Hasil optimasi selain terjadinya peningkatan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E), juga diharapkan terjadinya penurunan penyimpangan debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Namun demikian tidak semua penyimpangan parameter tersebut mengalami penurunan (bernilai negatif), tetapi ada juga yang bernilai positif yang berarti penyimpangan semakin besar setelah optimasi. Hal ini dapat terjadi karena proses optimasi parameter terjadi secara simultan, dan hanya berdasarkan pada fungsi tujuan dengan memaksimalkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E). Penyesuaian pada koefisien ini berdampak pada meningkat atau menurunnya penyimpangan parameter Model HSS, tergantung pada nilai E optimal yang dicapai pada proses optimasi. Namun secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa terjadi penurunan penyimpangan parameter model HSS seiring dengan meningkatnya Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) seperti disajikan pada Tabel 5.57 – 5.60.

Terjadinya penurunan penyimpangan parameter model HSS dan peningkatan koefisien E menunjukkan bahwa optimasi menggunakan fasilitas *solver* sangat efektif dilakukan. Hal yang perlu dicermati bahwa batasan-batasan parameter yang disyaratkan pada masing-masing model HSS, dapat tidak berlaku (berubah) seperti nilai n pada Model HSS Snyder dengan batasan 0.2 – 0.3, berdasarkan hasil optimasi nilai optimal dapat tercapai di luar batasan tersebut. Hal ini menandakan bahwa batasan-batasan parameter dapat dievaluasi.

Tabel 5.57 Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter debit puncak (Q_p , m³/det) pada 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan (%)							
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Liman-tara	HSS ITB-1	HSS ITB-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo								
	QP awal	47.6	31.1	12.2	19.6	26.6	42.7	21.1	20.0
	QP <i>solver</i>	12.0	10.3	6.1	0.6	9.3	42.7	17.8	1.3
	Perubahan	-74.8	-66.8	-50.1	-96.8	-65.2	0.0	-15.5	-93.7
2	Pinamula								
	QP awal	44.8	36.7	33.1	10.8	32.0	27.0	19.3	23.0
	QP <i>solver</i>	6.5	6.4	14.0	1.0	11.8	27.0	13.1	3.8
	Perubahan	-85.4	-82.6	-57.6	-90.5	-63.2	0.0	-32.0	-83.7
3	Toaya								
	QP awal	40.4	44.7	15.1	18.6	17.2	16.0	21.7	19.6
	QP <i>solver</i>	12.3	3.5	6.5	5.9	17.8	16.0	16.0	30.0
	Perubahan	-69.6	-92.1	-56.6	-68.2	3.3	0.0	-26.5	53.4
4	Bangga								
	QP awal	42.1	38.0	2.4	20.6	35.7	21.0	15.2	29.4
	QP <i>solver</i>	10.2	3.1	23.5	2.1	12.7	21.0	13.7	25.2
	Perubahan	-75.8	-91.8	861.8	-90.0	-64.3	0.0	-10.2	-14.5
5	Singkoyo								
	QP awal	30.7	50.0	21.4	25.9	35.8	1.5	16.4	27.8
	QP <i>solver</i>	8.6	9.1	15.1	0.4	15.2	1.5	11.1	18.2
	Perubahan	-71.8	-81.8	-29.5	-98.7	-57.5	0.0	-32.4	-34.5
6	Tambun								
	QP awal	35.3	46.2	12.8	44.0	46.5	6.8	9.5	38.1
	QP <i>solver</i>	10.5	6.8	22.6	3.8	13.8	6.8	13.0	17.3
	Perubahan	-70.3	-85.2	76.2	-91.4	-70.4	0.0	35.9	-54.7
7	Malino								
	QP awal	33.3	45.2	23.1	34.1	81.2	6.0	7.0	42.1
	QP <i>solver</i>	10.6	5.8	27.5	2.0	12.5	6.0	13.1	17.2
	Perubahan	-68.1	-87.1	19.0	-94.2	-84.6	0.0	88.8	-59.3
8	Bunta								
	QP awal	25.2	50.3	8.5	39.0	1.0	4.6	14.2	31.2
	QP <i>solver</i>	9.6	7.8	6.9	5.5	14.5	4.6	12.6	21.3
	Perubahan	-61.8	-84.5	-19.0	-85.9	1326.2	0.0	-11.0	-31.9
Perubahan rerata (%)		-72.2	-84.0	93.0	-89.4	115.5	0.0	-0.4	-39.9

Tabel 5.58 Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter waktu puncak (T_p , jam) pada 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan (%)							
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Liman-tara	HSS ITB-1	HSS ITB-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo								
	TP awal	72.8	11.5	106.6	32.6	22.4	27.5	144.0	144.0
	TP <i>solver</i>	3.5	11.5	61.1	32.6	22.4	27.5	5.7	11.1
	Perubahan	-95.2	0.0	-42.6	0.0	0.0	0.0	-96.1	-92.3
2	Pinamula								
	TP awal	42.3	12.9	150.9	17.5	25.7	0.4	101.3	101.3
	TP <i>solver</i>	1.8	12.9	33.9	17.5	25.7	0.4	5.7	11.3
	Perubahan	-95.7	0.0	-77.5	0.0	0.0	0.0	-94.3	-88.8
3	Toaya								
	TP awal	23.7	13.0	86.8	8.1	40.0	0.6	92.7	92.7
	TP <i>solver</i>	11.0	13.0	65.7	8.1	40.0	0.6	17.1	1.3
	Perubahan	-53.7	0.0	-24.3	0.0	0.0	0.0	-81.5	-98.6
4	Bangga								
	TP awal	42.4	12.9	64.1	13.2	7.7	0.5	100.2	100.2
	TP <i>solver</i>	5.9	12.9	30.1	13.2	7.7	0.5	9.0	13.6
	Perubahan	-86.0	0.0	-53.0	0.0	0.0	0.0	-91.0	-86.4
5	Singkoyo								
	TP awal	9.7	13.1	117.6	16.6	33.8	0.7	85.5	85.5
	TP <i>solver</i>	0.8	13.1	37.5	16.6	33.8	0.7	4.8	3.7
	Perubahan	-92.2	0.0	-68.1	0.0	0.0	0.0	-94.4	-95.6
6	Tambun								
	TP awal	33.5	13.0	56.9	29.6	10.7	0.6	95.2	95.2
	TP <i>solver</i>	5.6	13.0	42.1	29.6	10.7	0.6	8.7	4.9
	Perubahan	-83.2	0.0	-26.1	0.0	0.0	0.0	-90.9	-94.9
7	Malino								
	TP awal	33.3	13.2	50.1	18.8	7.4	0.8	96.0	96.0
	TP <i>solver</i>	1.1	13.2	148.4	18.8	7.4	0.8	3.7	2.9
	Perubahan	-96.8	0.0	196.4	0.0	0.0	0.0	-96.2	-97.0
8	Bunta								
	TP awal	3.0	12.9	86.4	44.6	78.3	0.5	83.3	83.3
	TP <i>solver</i>	5.6	12.9	75.0	44.6	78.3	0.5	0.9	6.7
	Perubahan	84.8	0.0	-13.2	0.0	0.0	0.0	-98.9	-92.0
Perubahan rerata (%)		-64.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-92.9	-93.2

Tabel 5.59 Peningkatan kinerja 8 Model HSS berdasarkan parameter waktu dasar (T_b , jam) pada 8 DAS

No	Nama DAS	Penyimpangan (%)							
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Liman-tara	HSS ITB-1	HSS ITB-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo								
	TB awal	558.3	58.3	16.2	68.5	17.4	166.7	174.5	174.5
	TB <i>solver</i>	534.9	91.7	9.4	68.5	17.4	166.7	18.9	0.0
	Perubahan	-4.2	57.1	-42.2	0.0	0.0	0.0	-89.2	-100.0
2	Pinamula								
	TB awal	406.0	62.5	64.7	23.8	14.9	125.0	164.3	164.3
	TB <i>solver</i>	388.7	100.0	12.1	23.8	14.9	125.0	38.8	16.4
	Perubahan	-4.3	60.0	-81.3	0.0	0.0	0.0	-76.4	-90.0
3	Toaya								
	TB awal	355.2	88.9	39.1	16.9	12.0	111.1	186.9	186.9
	TB <i>solver</i>	349.6	88.9	23.4	16.9	12.0	111.1	74.4	47.0
	Perubahan	-1.6	0.0	-40.2	0.0	0.0	0.0	-60.2	-74.8
4	Bangga								
	TB awal	408.2	87.5	11.8	24.5	2.5	137.5	172.8	172.8
	TB <i>solver</i>	393.3	87.5	11.4	24.5	2.5	137.5	48.6	17.7
	Perubahan	-3.7	0.0	-3.6	0.0	0.0	0.0	-71.9	-89.7
5	Singkoyo								
	TB awal	216.8	15.4	31.8	16.6	15.8	61.5	124.7	124.7
	TB <i>solver</i>	213.5	23.1	16.7	16.6	15.8	61.5	26.9	25.7
	Perubahan	-1.5	50.0	-47.4	0.0	0.0	0.0	-78.4	-79.4
6	Tambun								
	TB awal	241.9	25.0	17.9	20.4	34.0	75.0	104.2	104.2
	TB <i>solver</i>	233.1	50.0	25.7	20.4	34.0	75.0	13.7	9.7
	Perubahan	-3.6	100.0	43.3	0.0	0.0	0.0	-86.9	-90.7
7	Malino								
	TB awal	240.7	50.0	23.7	19.6	38.0	75.0	99.2	99.2
	TB <i>solver</i>	230.8	58.3	24.8	19.6	38.0	75.0	5.4	4.6
	Perubahan	-4.1	16.7	4.5	0.0	0.0	0.0	-94.5	-95.4
8	Bunta								
	TB awal	193.8	32.1	10.5	25.9	25.1	53.6	117.4	117.4
	TB <i>solver</i>	190.7	42.9	20.7	25.9	25.1	53.6	17.5	26.5
	Perubahan	-1.6	33.3	97.0	0.0	0.0	0.0	-85.1	-77.4
Perubahan rerata (%)		-3.1	39.6	-8.7	0.0	0.0	0.0	-80.3	-87.2

Tabel 5.60 Perbandingan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (*E*) kurva hidrograf satuan sintetik 8 DAS

No	Nama DAS	Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (<i>E</i>)							
		HSS Snyder	HSS Naka-yasu	HSS SCS	HSS GAMA I	HSS ITS-1	HSS Liman-tara	HSS ITB-1	HSS ITB-2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	Bahomoleo								
	E awal	0.62	0.83	0.56	0.86	0.78	0.55	0.17	0.20
	E <i>solver</i>	0.98	0.87	0.77	0.92	0.99	0.55	0.91	0.98
	Perubahan (%)	57.6	4.4	36.2	6.3	27.0	0.0	442.4	403.0
2	Pinamula								
	E awal	0.59	0.77	0.23	0.88	0.65	0.77	0.35	0.37
	E <i>solver</i>	0.98	0.96	0.82	0.99	0.94	0.77	0.93	0.99
	Perubahan (%)	66.1	24.9	254.0	12.7	44.2	0.0	167.9	163.9
3	Toaya								
	E awal	0.70	0.70	0.61	0.77	0.69	0.86	0.45	0.43
	E <i>solver</i>	0.97	0.99	0.78	0.97	0.90	0.86	0.92	0.83
	Perubahan (%)	38.7	41.1	27.3	25.4	30.6	0.0	104.0	94.6
4	Bangga								
	E awal	0.63	0.74	0.72	0.82	0.60	0.82	0.36	0.33
	E <i>solver</i>	0.97	0.97	0.75	0.99	0.95	0.82	0.93	0.87
	Perubahan (%)	54.4	32.1	3.8	21.0	57.3	0.0	155.3	166.7
5	Singkoyo								
	E awal	0.79	0.71	0.30	0.78	0.52	0.88	0.42	0.39
	E <i>solver</i>	0.98	0.97	0.77	0.98	0.89	0.88	0.94	0.91
	Perubahan (%)	24.3	35.8	157.6	24.6	73.2	0.0	125.7	132.3
6	Tambun								
	E awal	0.78	0.74	0.68	0.58	0.43	0.88	0.42	0.27
	E <i>solver</i>	0.97	0.99	0.70	0.97	0.94	0.88	0.93	0.93
	Perubahan (%)	25.2	33.4	3.1	66.3	118.6	0.0	124.1	249.1
7	Malino								
	E awal	0.74	0.72	0.60	0.72	-0.12	0.87	0.38	0.23
	E <i>solver</i>	0.98	0.97	0.68	0.99	0.96	0.87	0.94	0.94
	Perubahan (%)	31.6	35.3	13.3	38.4	919.9	0.0	150.8	319.0
8	Bunta								
	E awal	0.85	0.67	0.47	0.55	0.68	0.89	0.40	0.36
	E <i>solver</i>	0.98	0.95	0.75	0.92	0.70	0.89	0.95	0.91
	Perubahan (%)	15.3	41.4	57.7	68.0	2.6	0.0	139.9	152.4
Perubahan rerata (%)		39.1	31.1	69.1	32.8	159.2	0.0	176.3	210.1

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan kajian yang telah dilakukan berdasarkan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, serta pencapaian hasil penelitian menggunakan metodologi sebagaimana telah disampaikan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan hal-hal berikut ini:

- 1a. Berdasarkan hasil analisis informasi geografis, 8 DAS yang diobservasi termasuk dalam kategori DAS menengah (*meso scale watershed*, $10 \text{ km}^2 < A < 1000 \text{ km}^2$) berdasarkan klasifikasi DAS sebagaimana dituliskan oleh Stefan (2004, dalam Kouli et al., 2007, Safarina et al., 2011 dan Safarina, 2012) dengan karakteristik morfometri meliputi luas DAS (A) antara $23.88 \text{ km}^2 - 144.73 \text{ km}^2$, panjang sungai utama (L) antara $10.31 \text{ km} - 28.69 \text{ km}$, kemiringan sungai utama (S) antara $0.03422 - 0.10812$ dan faktor bentuk (F_b) antara $0.21 - 0.49$.
- b. Analisis karakteristik fraktal DAS menunjukkan bahwa dimensi fraktal jaringan sungai 8 DAS yang hitung menggunakan Metode *Horton's Coefficient Ratio* dan *Box Counting Dimension* memberikan hasil yang hampir sama dengan rentang antara 1 - 2. Tidak (belum) ditemukan referensi yang menunjukkan bahwa salah satu dari 2 metode tersebut memiliki akurasi yang lebih baik dari metode yang lain. Namun demikian, kedua metode tersebut telah digunakan secara luas oleh para peneliti untuk menganalisis karakteristik fraktal DAS seperti yang dilakukan oleh Tarboton *et al.* (dalam Rodriguez *et al.*, 1997), Balkhanov *et al.* (2004), Khanbabaie *et al.* (2013), yang memperoleh dimensi fraktal jaringan sungai umumnya berkisar antara 1 - 2. Hasil penelitian ini juga memverifikasi hasil penelitian sebelumnya bahwa jaringan hidrologi sungai memiliki karakteristik (dimensi) fraktal yang stabil pada berbagai dimensi ruang dan waktu (Irianto, 2003) khususnya pada DAS-DAS di Indonesia.

2. Parameter hidrograf satuan rata-rata berdasarkan 75 pasangan data hujan dan hidrograf banjir pada 8 DAS memperlihatkan waktu puncak hidrograf (*peak time*) berkisar 1.35 - 3.32 jam, debit puncak hidrograf (*peak flow*) berkisar antara 1.58 - 4.98 m³/det dan waktu dasar hidrograf (*base time*) berkisar antara 12 - 28 jam. Waktu puncak hidrograf satuan rata-rata relatif singkat dengan kelandaian sisi naik yang besar dan sisi resesi berangsur menurun secara perlahan. Hal ini diperkirakan berkaitan dengan karakteristik DAS (kemiringan sungai, tutupan lahan, sifat tanah) dan hujan seperti pola distribusi hujan serta faktor lainnya yang berpengaruh terhadap hidrograf.
- 3a. Berdasarkan 4 parameter morfometri (A , L , S dan F_b) dan 4 parameter fraktal (R_B , R_L , R_A dan D) DAS yang diusulkan sebagai variabel model HSS, hasil analisis statistik menunjukkan hanya 3 parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu puncak (T_p) yaitu L , R_L dan D dengan koefisien determinasi (r^2) 99.9%, 2 parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu dasar (T_b) yaitu A dan S dengan koefisien determinasi (r^2) 98.7% dan debit puncak merupakan fungsi dari waktu puncak. Koefisien determinasi tersebut menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mempunyai kinerja dan keberlakuan yang baik pada 8 DAS yang diobservasi dan memenuhi semua syarat uji statistik yang diterapkan. Ketiga persamaan parameter pokok hidrograf tersebut merupakan kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini.
- b. Penelitian ini berhasil merumuskan persamaan kurva tunggal yang lebih sederhana yang dinyatakan sebagai **HSS ITS-2**, dan mengatasi kelemahan HSS ITB-1 pada $T=0$ serta menyederhanakan koefisien pada HSS ITS-1 dimana parameter α dapat dinyatakan sebagai bilangan konstan yaitu 2 (jika $\alpha \neq 2$ maka kejadian debit puncak tidak bersesuaian dengan waktu puncak), dan parameter β dan γ dapat diganti menjadi parameter yang sama (jika parameter β dan γ memiliki perbedaan yang besar maka kejadian debit puncak tidak bersesuaian dengan waktu puncak). Persamaan kurva hidrograf ini diturunkan dari Persamaan Distribusi Gamma yang merupakan bagian dari distribusi probabilitas kontinu 2 parameter (2PGDF) menurut teori

statistik dan kemungkinan (Ghorbani et al, 2013). Persamaan kurva tunggal tersebut juga merupakan kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini

- c. Validasi **HSS ITS-2** pada 3 DAS di Sulawesi Tengah menunjukkan semua parameter pokok hidrograf yang dievaluasi mempunyai kinerja yang sangat baik. Penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata di bawah 20% dengan perincian penyimpangan debit puncak rata-rata sebesar 6.87%, penyimpangan waktu puncak rata-rata sebesar 10.17%, dan penyimpangan waktu dasar rata-rata sebesar 10.78%. Selain itu hasil hitungan juga menunjukkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) pada ketiga DAS relatif sangat tinggi dengan nilai rata-rata sebesar 87%, yang memperlihatkan kinerja yang baik.
 - d. Verifikasi **HSS ITS-2** pada 3 DAS di Pulau Jawa dan Bali menunjukkan bahwa penyimpangan parameter pokok hidrograf rata-rata $<30\%$ dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) relatif cukup baik (> 0.7). Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus ini model HSS tersusun memiliki keberlakuan relatif masih cukup baik pada DAS lain di luar Provinsi Sulawesi Tengah. Namun demikian verifikasi perlu dilakukan dengan melibatkan jumlah DAS yang lebih banyak lagi baik DAS-DAS yang berada di wilayah yang sama terutama di Pulau Sulawesi maupun DAS-DAS di daerah lain di luar Pulau Sulawesi, dengan berbagai karakteristik morfometri dan parameter fraktal DAS serta pola distribusi hujan wilayah.
- 4a. Berdasarkan analisis perbandingan kinerja, **HSS ITS-2** memiliki kinerja yang lebih baik dari model HSS lainnya dengan penyimpangan debit puncak rata-rata 11.85%, penyimpangan waktu puncak rata-rata 7.96%, penyimpangan waktu dasar rata-rata 3.18% dan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) 0.83. Hasil analisis ini membuktikan hipotesa bahwa kinerja model HSS dapat ditingkatkan dengan memperhitungkan (menggunakan) parameter fraktal Daerah Aliran Sungai. Delapan (8) HSS meliputi HSS Snyder, Nakayasu, SCS, GAMA I, ITS-1, Limantara, ITB-1 dan ITB-2 yang dievaluasi pada 8 DAS di daerah penelitian menggunakan perbandingan parameter hidrograf terukur dengan parameter hidrograf model HSS dan

Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) memperlihatkan kinerja dengan tingkat penyimpangan relatif besar, sebagian besar di atas 30% dan koefisien E di bawah 0.8. Hal ini menunjukkan kinerja yang dicapai relatif rendah sehingga diperlukan penyesuaian parameter masing-masing model HSS untuk mendapatkan parameter optimal

- b. Peningkatan kinerja model 8 HSS menggunakan fasilitas *Solver* pada *Microsoft Excel* dapat menurunkan penyimpangan parameter model HSS untuk parameter debit puncak dan waktu puncak rata-rata sampai di bawah 30% dan meningkatkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E) sampai di atas 80%. Terjadinya penurunan penyimpangan parameter model HSS dan peningkatan koefisien E menunjukkan bahwa optimasi menggunakan fasilitas *solver* sangat efektif dilakukan. Namun demikian tidak semua penyimpangan parameter tersebut mengalami penurunan tetapi ada juga yang semakin besar setelah optimasi. Hal ini dapat terjadi karena proses optimasi parameter terjadi secara simultan, dan hanya berdasarkan pada fungsi tujuan dengan memaksimalkan Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E). Penyesuaian pada koefisien ini berdampak pada meningkat atau menurunnya penyimpangan parameter Model HSS, tergantung pada nilai E optimal yang dicapai pada proses optimasi. Namun secara keseluruhan dapat dinyatakan bahwa terjadi penurunan penyimpangan parameter model HSS seiring dengan meningkatnya Koefisien Efisiensi Model Nash–Sutcliffe (E).
- c. Koefisien model HSS yang dievaluasi terutama koefisien yang tidak berasosiasi dengan makna fisik DAS, seperti koefisien tampungan DAS (C_t), konstanta empiris (C_p) dan konstanta (n) pada HSS Snyder dan parameter lainnya pada model HSS lainnya, dapat tercapai di luar batasan yang telah ditetapkan untuk mendapatkan kinerja model optimal. Hal ini menunjukkan bahwa batasan koefisien yang telah ditetapkan tidak mengikat tetapi tergantung dari sifat DAS yang dievaluasi. Oleh karena itu untuk mendapatkan batasan parameter yang berlaku untuk berbagai DAS, perlu dilakukan pengujian pada DAS-DAS lain dengan beragam karakteristik.

6.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan-keterbatasan hasil penelitian yang telah dicapai dan dalam rangka meningkatkan kualitas hasil penelitian pada penelitian selanjutnya, maka dapat disarankan hal-hal berikut ini:

1. Jika data tersedia dengan jumlah yang memadai, maka sebaiknya model disusun (dikembangkan) dengan melibatkan jumlah DAS yang lebih banyak, dengan kategori luas DAS yang lebih beragam sehingga keberlakuan model HSS dapat mengakomodasi lingkup yang lebih luas baik untuk DAS kecil, menengah dan besar serta mencakup posisi geografis DAS di luar Sulawesi Tengah.
2. Model **HSS ITS-2** ini dikembangkan menggunakan DAS berukuran menengah dan kemiringan sungai berkategori terjal, oleh karena itu model HSS ini pada dasarnya direkomendasikan untuk diterapkan pada DAS-DAS yang memiliki kategori serupa dengan DAS tersebut. Bila model HSS ini diterapkan di tempat lain di luar kategori tersebut, penggunaannya harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya penyimpangan yang tidak diinginkan atau kinerja yang rendah. Untuk mengantisipasi hal tersebut pada model HSS ini disediakan koefisien untuk melakukan kalibrasi meliputi C_1 , C_2 dan C_3 . Apabila data untuk keperluan kalibrasi tersedia maka kalibrasi parameter model HSS harus (dapat) dilakukan.
3. Untuk meningkatkan kinerja **HSS ITS-2** akibat penyimpangan yang besar baik pada debit puncak, waktu puncak maupun waktu dasar pada DAS-DAS tertentu, persamaan parameter hidrograf dapat dievaluasi (disusun) kembali dengan memperhitungkan variabel lain yang tidak terakomodasi pada model.
4. Perlu melakukan evaluasi koefisien model menggunakan DAS dengan karakteristik yang beragam untuk mendapatkan batasan koefisien model HSS yang optimal sehingga dapat berlaku untuk seluruh DAS yang diuji.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Akshoy, H., (2000), *Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis*, Journal of Engineering and Environmental Science, Vol. 24, pp. 419-428
- Aldoma, A., and Mohamed, M.Y., (2014), *Simulation of Rainfall Run-off Process for Khartoum State (Sudan) Using Remote Sensing and Geographic Information System (GIS)*, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering (IJWREE), Vol. 6 No. 3, pp. 98–105
- Alves, L.G.S., Assemany, P.P., De Faria, A.P.M, Assis, L.C., and Caljuri, M.L., (2014), *Evaluation of Alternatives for Reducing Flow Peaks in An Urban Watershed*, Proceeding of 6th International Conference on Flood Management, Sao Paulo-Brazil, September 2014
- Anonim, (2010), *Rencana Tata Ruang Provinsi Sulawesi Tengah Tahun 2010-2030*, BAPPEDA Provinsi Sulawesi Tengah
- Anonim, (2012), *Penetapan Wilayah Sungai (WS)*, KEPPRES No. 12 Tahun 2012, Jakarta
- Aparna, P., Nigee, K., Shimna, P., and Drissia, T.K., (2015), *Quantitative Analysis of Geomorphology and Flow Pattern Analysis of Muvattupuzha River Basin Using Geographic Information System*, Aquatic Procedia–International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 609–616
- Arsyad, S., (2000), *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB, Bogor.
- Asdak, C., (2007), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Bakri, S., (2005), *Perilaku Fraktal Susunan Partikel dan Pola Percabangan Pori-Pori Tanah, Integral*, Vol. 10 No. 2, hal. 60-77.
- Balkhanov, V.K., and Bashkuev, Y.V., (2004), *Fractal dimension of the channel network structure of Selenga River Delta*, Water Resources, Vol. 31, pp. 148-151.
- BAPPEDA, (2010), *Rencana Tata Ruang Wilayah Prov. Sulawesi Tengah*, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Prov. Sulawesi Tengah, Palu
- Bhattacharjya, R.K., (2004), *Optimal Design of Unit Hydrographs Using Probability Distribution and Genetic Algorithms*, Sadhana, Vol. 29 No. 5, pp. 499–508
- Bhunya, P.K., Misra, S.K., and Berndtsson, R., (2003), *Simplified Two-Parameter Gamma Distribution for Derivation of Synthetic Unit Hydrograph*, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 8 No. 4, pp. 226-230
- Bhunya, P.K., Panda, S.N., and Goel, M.K., (2011), *Synthetic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review*, Vol. 5, pp. 1-8
- BIG, (2015), *Peta Rupa Bumi Indonesia Lembar-Lembar Sulawesi Tengah Tahun 1991*, Badan Informasi Geospasial Indonesia, Jakarta
- Boufadel, M.C., (1998), *Unit Hydrographs Derived from the Nash Model*, Journal of the American Water Resources Association, Vol. 34, No. 1, pp. 167-177

- Brodie, R.R., and Hostetler, S., (2005), *Review of Techniques for Analysing Baseflow From Stream Hydrograph*, Managing Connected Water Resources Project, Canberra
- Brunda, G.S., and Nyamathi, S., (2015), *Derivation and Analysis of Dimensionless Hydrograph and S Curve for Cumulative Watershed Area*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 964–971
- BWS, (2013), *Publikasi Data Hidrologi Sulawesi Tengah*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi III, Palu
- Chandrashekar, H., Lokesh, K.V., Sameena, M., Roopa, J., and Ranganna, G., (2015), *GIS –Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 1345–1353
- Cheng, C., Cheng, S., Wen, J., and Lee, J., (2013), *Time and Flow Characteristics of Component Hydrographs Related to Rainfall–Streamflow Observations*, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 18 No. 6, pp. 675–688
- Chow, V.T., (1964), *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill Book Company, New York
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., (1998), *Applied Hydrology*, McGraw Hill Book Company, New York
- Daya Sagar, B.S., Charles Omoregie, C., and Prakasa Rao, B.S., (1998), *Morphometric Relations of Fractal-Skeletal Based Channel Network Model*, Discrete Dynamics in Nature and Society, Vol. 2, pp. 77-92
- Daya Sagar, B.S., Srinivas, D., and Prakasa Rao, B.S., (2001), *Fractal-Skeletal Based Network (F-SCN) in a Triangular Initiator-Basin*, Fractals, Vol. 9, No. 4. pp. 429-437
- De Bartolo, S.G., Gabriele, S., and Gaudio, R., (2000), *Multifractal Behavior of River Network*, Hydrology and Earth System Journal, Vol. 4 No. 1, pp. 105-112.
- Devi, G.K., Ganasri, B.P., and Dwarakish, G.S., (2015), *A Review on Hydrological Models*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 1001–1007
- ESRI, (2010), *ArcGIS Tutorial*, ESRI Inc., USA
- Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG), (2001), *Stream Corridor Restoration (Principle, Processes and Practices)*, USDA– Natural Resources Conservation Service, USA
- Fitri, D.A., (2014), *Estimasi Parameter Model Regresi Linier Berganda dengan Teknik Bootstrap*, Vol. 3 No.3 pp.41-49
- Fleurant, C., and Duchesne, J., (2003), *A Geomorphological Unit Hydrograph Model Derive from Statistical Physics and Fractal Geometry*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, pp. –

- Fleurant, C., Kartiwa, B., and Roland, B., (2006), *Analytical Model for A Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph*, Hydrological Processes, Vol. 20 No. 18, pp. 3879-3895
- Ghorbani, M.A., Kashani, M.H., and Zeynali, S., (2013), *Development of Synthetic Unit Hydrograph Using Probability Model*, Research in Civil and Environmental Engineering, Vol. 1, pp. 54-66
- Ghorbani, M.A., Singh, V.P., Sivakumar, B., Kashani, M.H., Atre, A.A., and Asadi, H., (2015), *Probability Distribution Functions for Unit Hydrographs With Optimization Using Genetic Algorithm*, Applied Water Science, Vol. 5, pp. 1–14
- Gordon, N.D., McMohan, T.A, Finlayson, B.L., Gippel, C.J., and Nathan, R.J., (2004), *Stream Hydrology*, John Willey and Son, England
- Graler, B., Van Den Berg, M.J., Vandenberghe, S., Petroselli, A., Grimaldi, S., De Baets, B., and Verhoest, N.E.C., (2013), *Multivariate Return Periods in Hydrology: A Critical and Practical Review Focusing on Synthetic Design Hydrograph Estimation*, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 17, pp. 1281–1296
- Haan, C.T., (1995), *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press, Iowa
- Himanshu, S.K., Garg, N., Rautela, S., Anuja, K.M., and Tiwari, M., (2013), *Remote Sensing and GIS Applications in Determination of Geomorphological Parameters and Design Flood for a Himalyan River Basin, India*, International Research Journal of Earth Sciences, Vol. 1 No. 3, pp. 11–15
- Hugenschmidt, C., Ingwersen, J., Sangchan, W., Sukvanachaiikul, Y., Duffner, A., Uhlenbrook, S., and Streck, T., (2014), *A Three-Component Hydrograph Separation Based on Geochemical Tracers in a Tropical Mountainous Headwater Catchment in Northern Thailand*, Hydrology and Earth System Sciences, Vol.18, pp. 525–537
- Indarto, (2012), *Hidrologi : Dasar Teori dan Aplikasi Model Hidrologi*, Bumi Aksara, Jakarta
- Irianto, G., (2003), *Banjir dan Kekeringan: Penyebab, Antisipasi dan Solusinya*, Universal Pustaka Media, Bogor
- Jain, V., and Sinha, R., (2003), *Derivation of Unit Hydrograph from GIUH: Analysis for a Himalayan River*, Water Resources Management Vol. 17, pp. 355–375
- Jonsen, B., (2006), *Pemodelan Hidrograf Menggunakan Pendekatan Geomorfologi (Studi Kasus sub DAS Cicatih)*, Tugas Akhir Program Sarjana IPB, Bogor
- Khaleghi, M.R., Gholami, V., Ghodusi, J., and Hosseini, H., (2011), *Efficiency of The Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph Method in Flood Hydrograph Simulation*, Catena Vol. 87, pp. 163-171
- Khanbabaei, Z., Karam, A., and Rostamizad, G., (2013), *Studying Relationships Between The Fractal Dimension of The Drainage Basins and Some of Their*

- Geomorphological Characteristics*, International Journal of Geosciences, Vol. 4, pp. 636-642
- Kottegoda, N.T., and Rosso, R., (2008), *Applied Statistics for Civil and Environmental Engineers*, Blackwell Publishing, Oxford
- Kouli, M., Vallianatos, F., Soupios, P., and Alexakis, D., (2007), *GIS-Based Morphometric Analysis of Two Major Watersheds, Western Crete, Greece*, Journal of Environmental Hydrology, Vol. 15 No.1, pp. 1–17.
- Kusumastuti, D.I., Jokowinarno, D., Van Rafi'i, C.H., and Yuniarti, F., (2016), *Analysis of Rainfall Characteristics for Flood Estimation in Way Awi Watershed*, Civil Engineering Dimension, Vol. 18, No. 1, pp. 31-37
- Kusumayudha, S.B., Zen, M.T., Notosiswoyo, S., and Gautama, R.S., (2000), *Fractal Analysis of The Oyo River, Cave Systems, and Topography of The Gunungsewu Karst Area, Central Java, Indonesia*, Hydrogeology Journal, Vol. 8, pp. 271–278
- Lasidi, Edijatno and Anwar, N., (2003), *Hidrograf Satuan Sintetik (HSS-ABG)*, Prosiding Seminar PIT XX HATHI, 20-21 Oktober
- Maitre, H., and Pinciroli, M., (1997), *Fractal Characterization of a Hydrological Basin Using SAR Satellite Images*, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications 46 Rue Barrault - 75 013 Paris-France
- Malik, M.I., Bhat, M.S., and Kuchay, N.A., (2011), *Watershed Based Drainage Morphometric Analysis of Lidder Catchment in Kashmir Valley Using Geographical Information Systems*, Recent Research in Science and Technology, Vol. 3 No. 4, pp. 118-126
- Mandelbrot, B.B., (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, E-book online, W. H. Freeman, San Francisco,
- Miller, M.P., Susong, D.D., Shope, C.L., Heilweil, V.M., and Stolp, B.J., (2014), *Continuous Estimation of Baseflow in Snowmelt-Dominated Streams and Rivers in The Upper Colorado River Basin: a Chemical Hydrograph Separation Approach*, Water Resources Research, Vol.50, pp. 1–14
- Montarcih, L., (2009), *Hidrograf Satuan Sintetik Limantara*, Jurnal Rekayasa Sipil, Vol. 3 No. 3, hal. 209-226
- Montarcih, L., (2009), *The Limiting Physical Parameters of Synthetic Unit Hydrograph*, World Applied Sciences Journal, Vol. 7 No. 6, pp. 802-804
- Natakusimah, D.K., Hatmoko, W., dan Harlan, D., (2011), *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 18 No. 3, hal. 251-291
- Nourani, V., and Sharghi, E., (2009), *A Comparative Study on Calibration Methods of Nash's Rainfall Runoff Model: Case Study Ammameh Watershed, Iran*, Recent Advances in Environment, Ecosystems and Development, pp.74-80
- Owusu, G., (2014), *Re-engineering DEM to Extract Geomorphologic Parameters for Flood Prediction in Ghana*, Journal of Geomatics, Vol.8 No. 2, pp. 153–163

- Pareta, K., and Pareta, U., (2012), *Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India*, International Journal of Remote Sensing and GIS, Vol. 1 No. 1, pp. 41-56
- Patil, P.R., Mishra, S.K., Sharma, N., and Swar, A.K., (2012), *Two-Parameter Gamma-Based SUH Derivation*, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 3 No. 5, pp. 427–432
- Paul, J.M., and Inayathulla, M., (2012), *Morphometric Analysis and Prioritization of Hebbal Valley in Bangalore*, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSRJMCE) Vol. 2, No. 6, pp. 31-37
- Ponce, V.M., (2014), *Engineering Hydrology, Principles and Practices*, San Diego State University, USA
- Ragunath, H.M., (2006), *Hydrology: Principle, Analysis and Design*, New Age International, New Delhi
- Rama, V.A., (2014), *Drainage Basin Analysis For Characterization of 3rd Order Watersheds Using Geographic Information System (GIS) and ASTER Data*, Journal of Geomatics, Vol. 8 No. 2, pp. 200–210
- Rao, N., Latha, S., Kumar, A., and Krishna, H., (2010), *Morphometric Analysis of Gostani River Basin in Andhra Pradesh State, India Using Spatial Information Technology*, International Journal of Geomatics and Geosciences Vol. 1, No 2, pp. –
- Ratnayake, U., (2004), *Watershed Characteristics*, CE205–Engineering Hydrology Lecture Online, The Open University of Sri Lanka
- Reis, A.H., (2006), *Constructal View of Scaling Laws of River Basins*, Geomorphology, No. 78, pp. 210-206
- Rekha, V.B., George, A.V., and Rita, M., (2011), *Morphometric Analysis and Micro-watershed Prioritization of Peruvanthanam Sub-watershed*, The Manimala River Basin, Kerala, South India, Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 3 No. 57, pp. 6–14
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., and Miller, J.R., (2011), *Process Geomorphology*, 5th Edition, Waveland Press Inc., Illinois, USA
- Rodrigues-Iturbe, I. and Rinaldo, A., (1997), *Fractal River Basin, Chance and Self Organization*, Cambridge University Press, UK
- Rodriguez-Iturbe, I. and Juan Valdes, J.B., (1979), *The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response*, Water Resources Research, Vol 15. No. 6, pp.1409-1420
- Rodriguez-Iturbe, I., Marani, M., and Rigon, (1994), *Self-Organized River Basin Landscape: Fractal and Multifractal Characteristics*, Water Resources
- Safarina, A.B., (2012), *Modified Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph Method For Meso Scale Ungauge Watersheds*, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), Vol. 2, No. 4, pp. 649-654
- Safarina, A.B., Salim, H.T., Hadihardaja, I.K., and Syahril, M., (2011), *Clusterization of Synthetic Unit Hydrograph Methods Based on Watershed Characteristics*, International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol. 11 No. 6, pp. –

- Salajeghe, A., Dalfardi, S., Mahdavi, M., Bahremand, A., and Afzali, A., (2010), *Determining The Effect of Physical Characteristics on Flood Hydrograph*, Desert Vol. 15, pp. 33-43
- Salami, A.W., (2009), *Evaluation of Methods of Storm Hydrographs Development*, International E-Journal of Engineering Mathematics: Theory and Application, Vol. 6 pp. 17-28.
- Salami, A.W., Bilewu, S.O., Ayanshola, A.M., and Oritola, S.F., (2009), *Evaluation of Synthetic Unit Hydrograph Methods for The Development of Design Storm Hydrographs for Rivers in South-West, Nigeria*, Journal of American Science, Vol. 5 No. 4, pp. 23-32.
- Saravanan, S., and Manjula, R., (2015), *Geomorphology Based Semi-Distributed approach for Modeling Rainfall-Runoff Modeling using GIS*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 908–916
- Schmidt, F.H., and Fergusson, J.H.A., (1951), *Rainfall Types Based on Wet and Dry Period Ratios for Indonesia with Western New Guinea*, Djawatan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- Seo, Y., and Schmidt, A.R., (2013), *Network Configuration and Hydrograph Sensitivity to Storm Kinematics*, Water Resources Research, Vol. 49, pp. 1812–1827
- Singh, S.K., (2000), *Transmuting Synthetic Unit Hydrographs into Gamma Distribution*, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 5, No. 4, pp. 380-385
- Slamet, B., (2006), *Model Hidrograf Satuan Sintetik Menggunakan Parameter Morfometri (Studi Kasus DAS Ciliwung Hulu)*, Tesis Program Magister IPB, Bogor
- Soemarto, C.D., (1985), *Hidrologi Teknik*, Erlangga, Jakarta
- Sosrodarsono, S., (1976), *Hidrologi Untuk Pengairan*, Pradnya Paramita, Jakarta
- Sri Harto, (1985), *Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Sri Harto, (1985), *Pengkajian Sifat Dasar Hidrograf -Satuan Sungai Sungai di Pulau Jawa untuk Perkiraan Banjir*, Disertasi Program Doktor, Universitas Gajah Mada (UGM), Yogyakarta, Indonesia
- Sri Harto, (2000), *Hidrologi: Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Nafiri Offset, Yogyakarta
- Suardana, I.W., (2004), *Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Karakteristik Hidrograf Banjir di Sungai Badung Kabupaten Badung Propinsi Bali*, Tesis Program MPBA UGM, Yogyakarta
- Subramanya, K., (1995), *Engineering Hydrology*, McGraw Hill, New Delhi
- Sujono, J., dan Jayadi, R., (2007), *Hidrograf Satuan : Permasalahan dan Alternatif Penyelesaian*, Forum Teknik Sipil No. XVII/2-Mei 2007
- Sule, B.F., and Alabi, S.A., (2013), *Application of Synthetic Unit Hydrograph Methods to Construct Storm Hydrographs*, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 5 No. 11, pp. 639-647

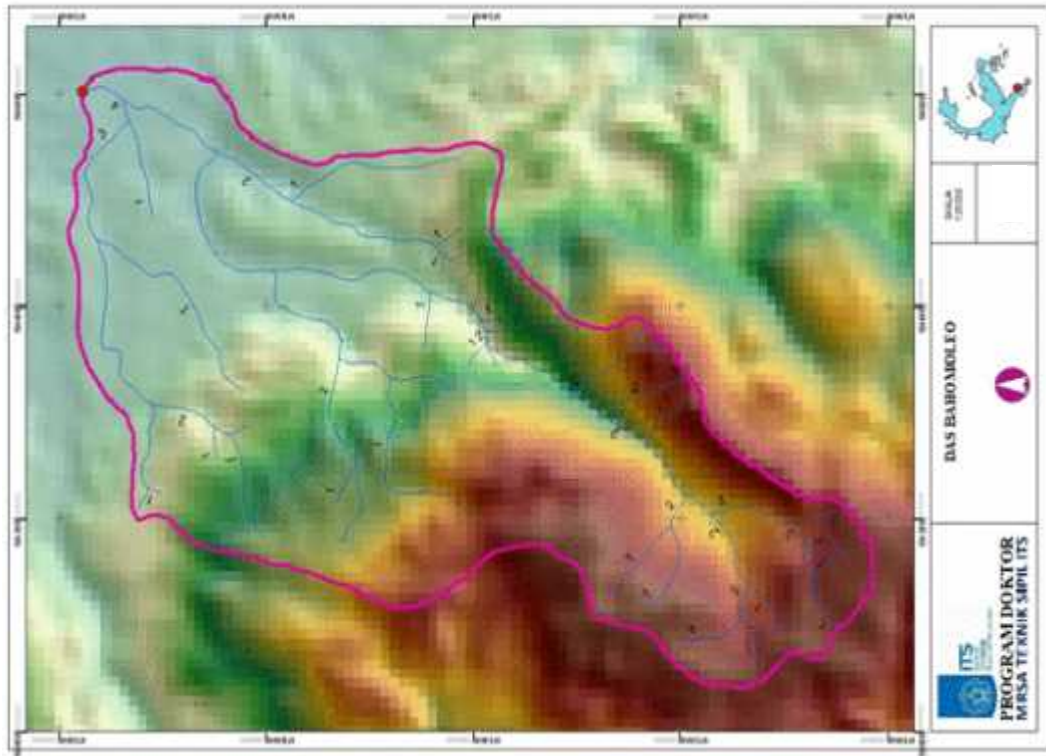
- Sumarjo, G.I., Duchesne, J., and Perez, P., (1999), *H2U: A Transfer Functional Model Using Fractal Characteristics of The Hydrographic Network*, Environmental Modelling and Journal
- Supriya, P., Krishnaveni, M., and Subbulakshmi, M., (2015), *Regression Analysis of Annual Maximum Daily Rainfall and Stream Flow for Flood Forecasting in Vellar River Basin*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 957–963
- Suripin, (2001), *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*, Andi, Yogyakarta
- Sutapa, W., 2005, *Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan di Daerah Aliran Sungai Kodina*, MEKTEK Vol. 7 No. 1, hal. 35-40.
- Swain, J.B., Jha, R., and Patra, K.C., (2015), *Stream Flow Prediction in a Typical Ungauged Catchment Using GIUH Approach*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 993–1000
- Tian, S., Wang, W., Shang, H., and Peng, H., (2013), *Comparison of Traditional Methods and Fractal Dimension Method in River Pattern Discrimination*, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Vol. 5 No. 23, pp. 5450–5456
- Triatmodjo, B., (2002), *Metode Numerik*, Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo, B., (2008), *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2015a), *Kinerja HSS Snyder, Nakayasu dan GAMA 1 Pada DAS Terukur di Sulawesi Tengah*, Jurnal Teknik Sumber Daya Air, vol. 1 no. 2 Juni 2015 Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia (HATHI), Hal. 105-114
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2015b), *Pemilihan Pola Distribusi Hujan Hipotetik Sebagai Masukan Model Hidrograf Satuan di Sungai*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia (HATHI) ke-32, Hal. 160-170
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2016a), *Analysis of Dominant Rainfall Distribution Pattern for Flood Hydrograph Prediction*, Proceeding of The 3rd International Seminar on Infrastructure Development (ISID) 2016, pp. 43-52
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2016b), *Fractal Characteristic Analysis of Watershed as Variable of Synthetic Unit Hydrograph Model*, The Open Civil Engineering Journal (TOCIEJ), Vol. 10, pp.706-718
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2016c), *Fractal Characteristic Analysis of Watershed Based on Geographical Information System*, Proceeding of The 5th International Seminar of HATHI (Indonesian Association of Hydraulic Engineers), pp. 205-215
- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2017a), *Analisis of Main Morphometry Characteristic of Watershed and It's Effect to The Hydrograph Parameters*, The Journal for Technology and Science (IPTEK), Vol.28, No. 1, pp.30-36

- Tunas, I.G., Anwar, N., and Lasminto, U., (2017b), *The Improvement of Synthetic Unit Hydrograph Performance by Adjusting Model Parameters for Flood Prediction*, International Journal of Engineering and Technology (IJET), Vol. 9, No. 2, pp.847-858
- Udayakumar, G., Mayya, S.G., and Ojoawo, S.O., (2015), *Estimation of Lateral Subsurface Flow in Lateritic Formations Using Well Hydrograph Analysis*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 1062–1069
- USACE, (2000), *Technical Reference Manual HEC-HMS*, US Army Corp of Engineer, USA
- Vera, W.A., (2005), *Pengujian Metode Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I Dalam Analisis Debit Banjir Rancangan DAS Bangsa*, MEKTEK Vol. 14 No. 1, hal. 1-9.
- Viji, R., Prasanna, P.R., and Ilangovan, R., (2015), *Modified SCS-CN and Green-Ampt Methods in Surface Runoff Modelling for the Kundahpallam Watershed, Nilgiris, Western Ghats, India*, Aquatic Procedia– International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 4, pp. 677–684
- Vladu, I.F., (2006), *Adaptation as Part of The Development Process*, Technology Subprogramme Adaptation, Technology and Science Programme, UNFCCC
- Wagner, T., Boyle, D.P., Lees, M.J., Wheat, H.S., Gupta, H.P., and Sorooshian, S., (2001), *A Framework for Development and Application of Hydrological Models*, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 5 No. 1, pp. 13–26
- Walpole., R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., and Ye, K., (2012), *Probability and Statistics for Engineers and Scientist*, Prentice Hall, Boston
- Wilkerson, J.L., (2009), *Regional Regression Equations to Estimate Synthetic Unit Hydrograph Parameters For Indiana*, MS.c. Thesis in Civil Engineering, Purdue University
- Zhou, X., (2004), *Fractal and Multifractal Analysis of Runoff Time Series and Stream Networks in Agricultural Watersheds*, Ph.D Thesis in Crop And Soil Environmental Sciences, The Virginia Polytechnic Institute and State University

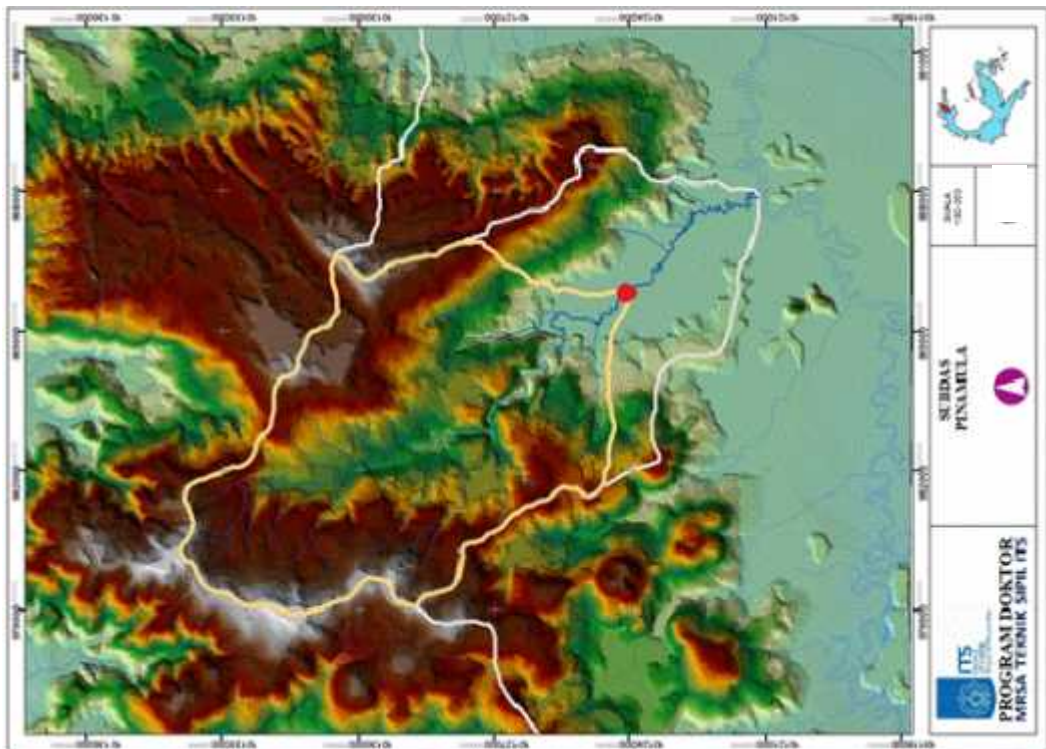
LAMPIRAN A

TOPOGRAFI DAS, JARINGAN SUNGAI DAN TUTUPAN LAHAN

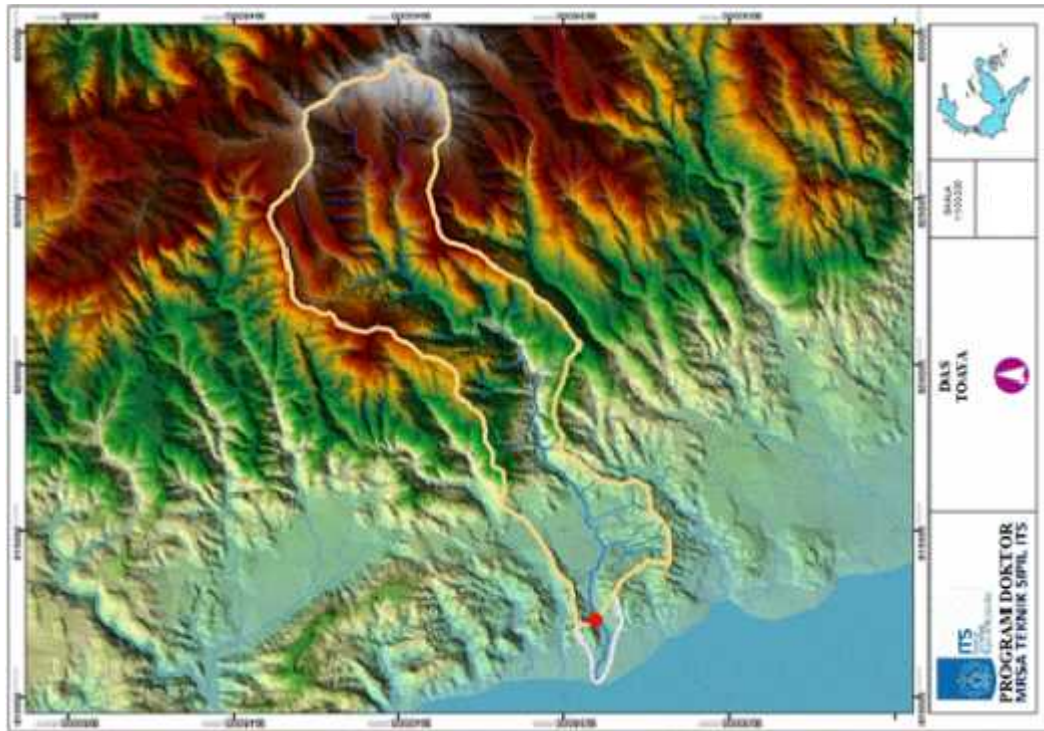




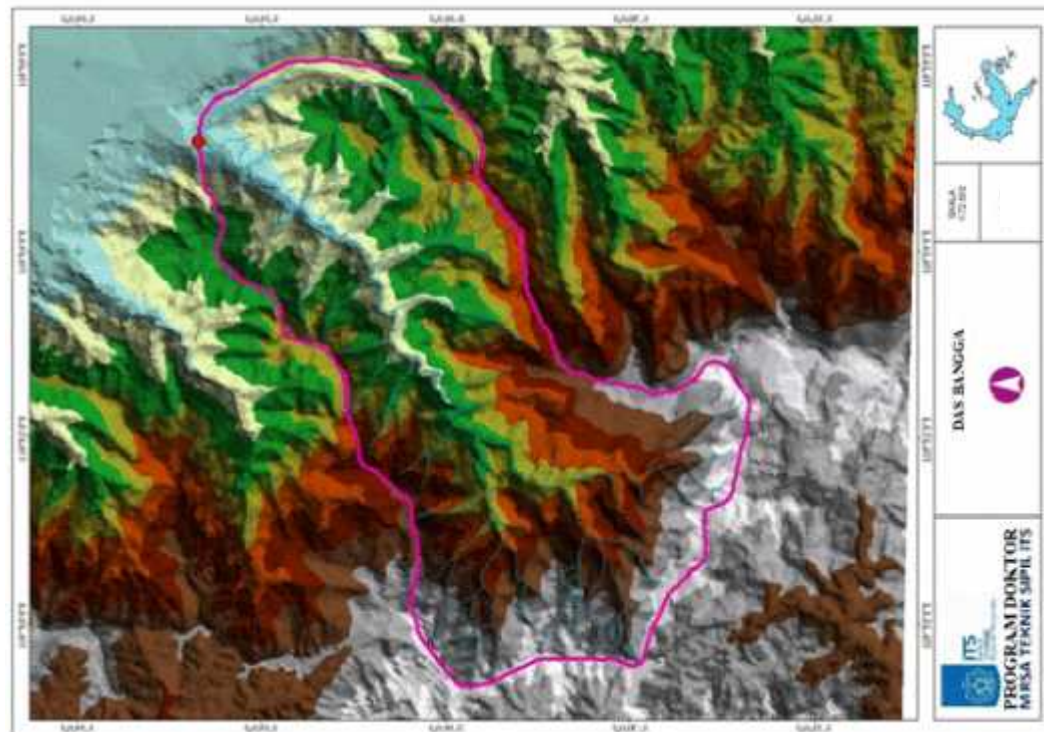
Gambar A1-1 Topografi DAS Bahomoleo



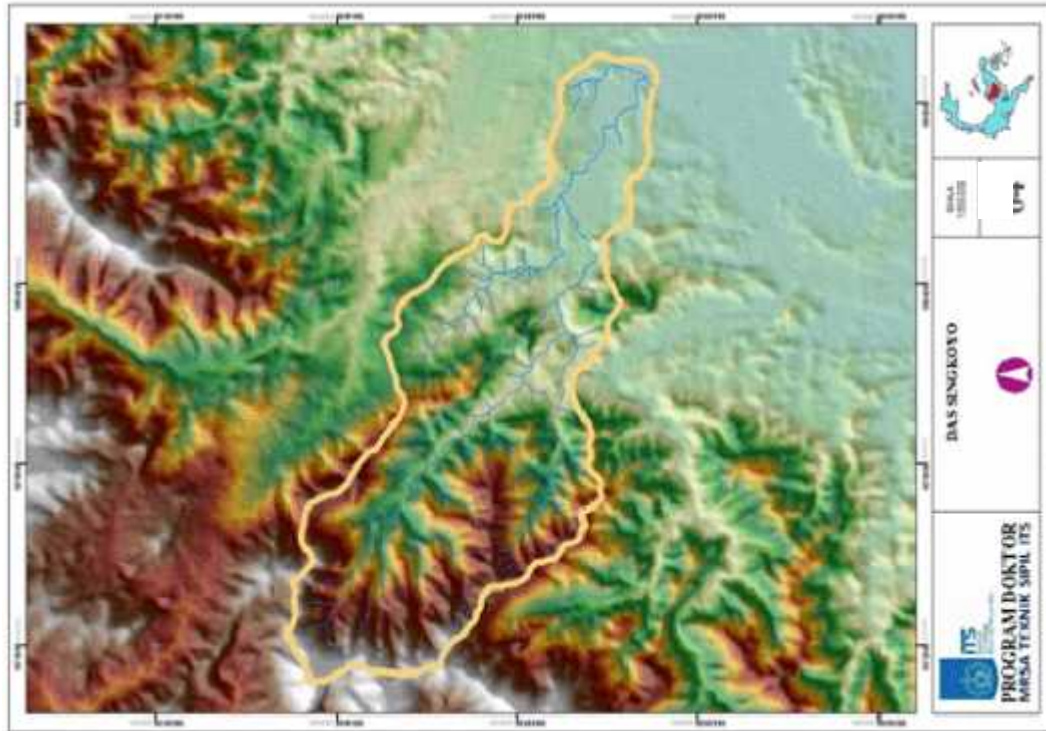
Gambar A1-2 Topografi DAS Pinamula



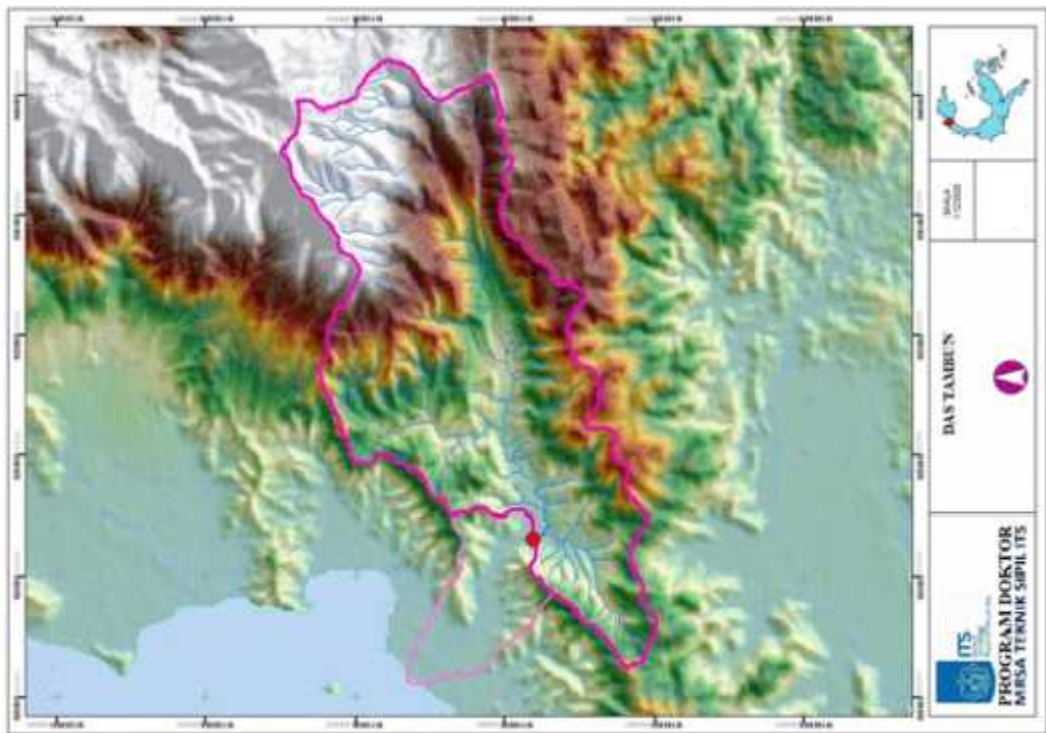
Gambar A1-3 Topografi DAS Toaya



Gambar A1-4 Topografi DAS Bangga



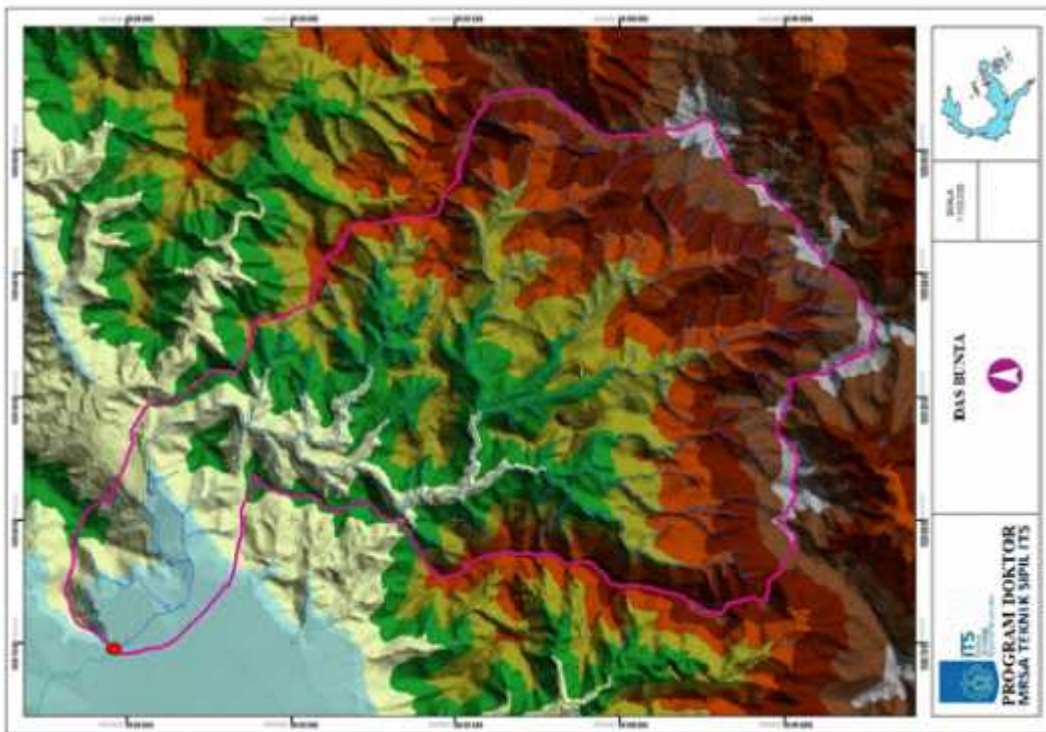
Gambar A1-5 Topografi DAS Singkoyo



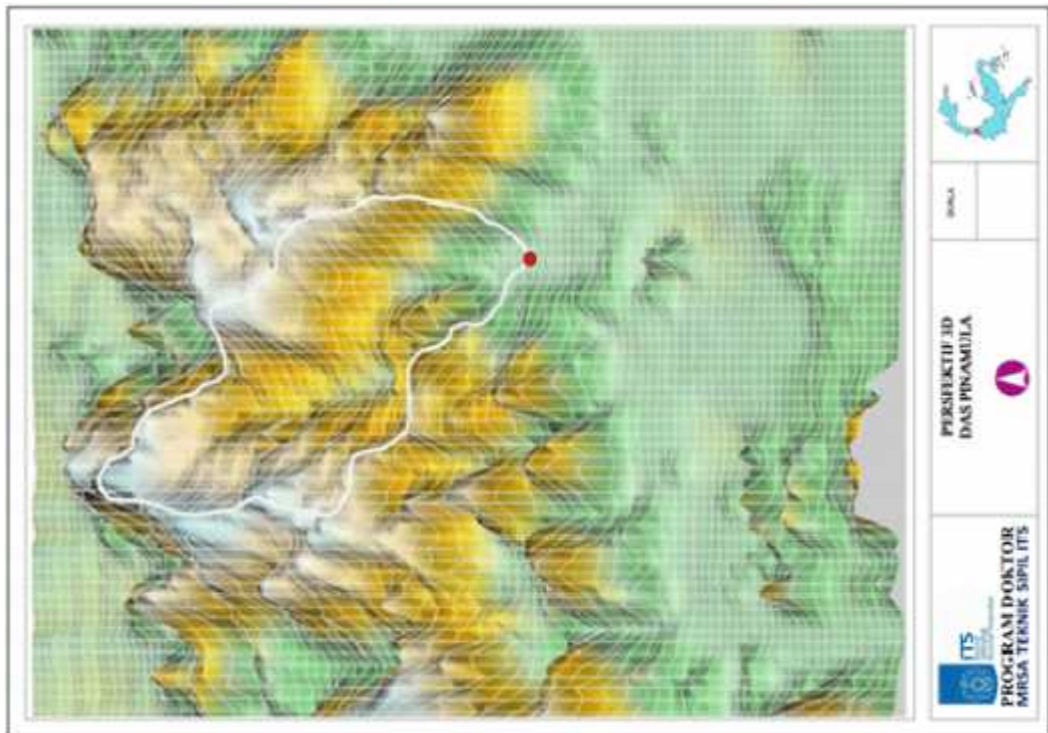
Gambar A1-6 Topografi DAS Tambun



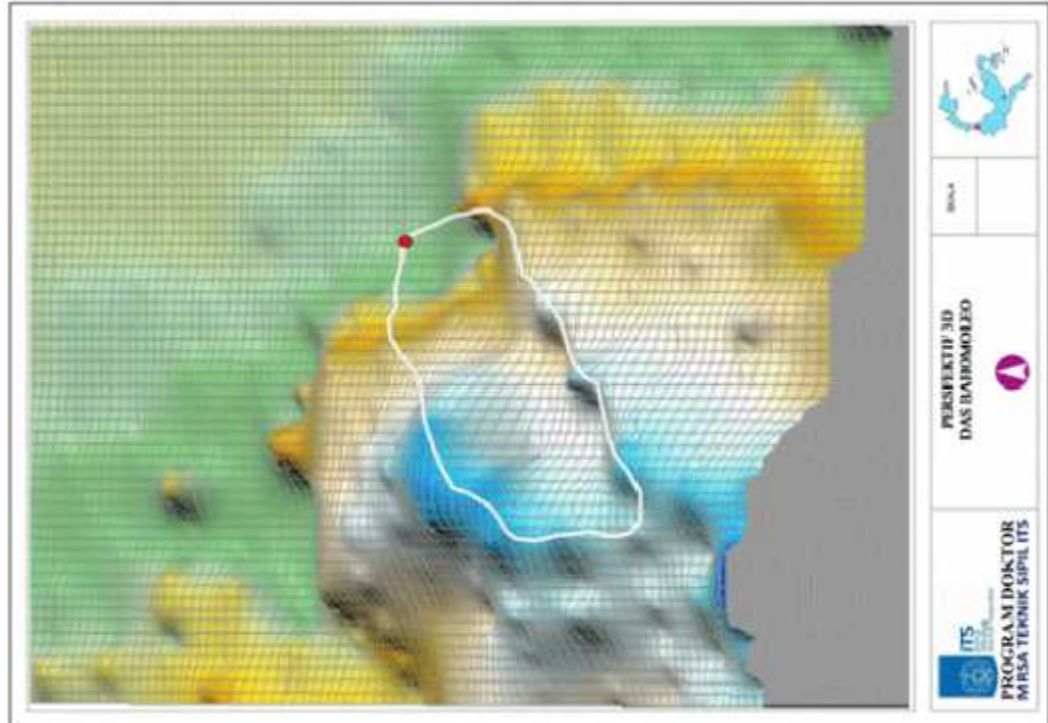
Gambar A1-7 Topografi DAS Malino



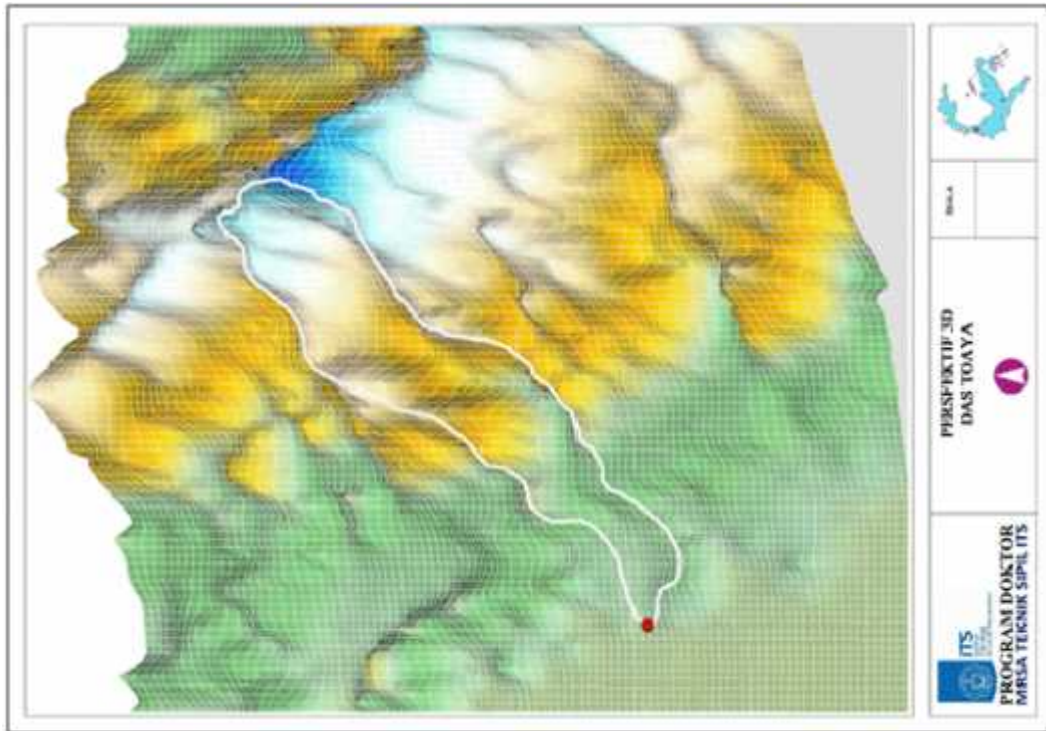
Gambar A1-8 Topografi DAS Bunta



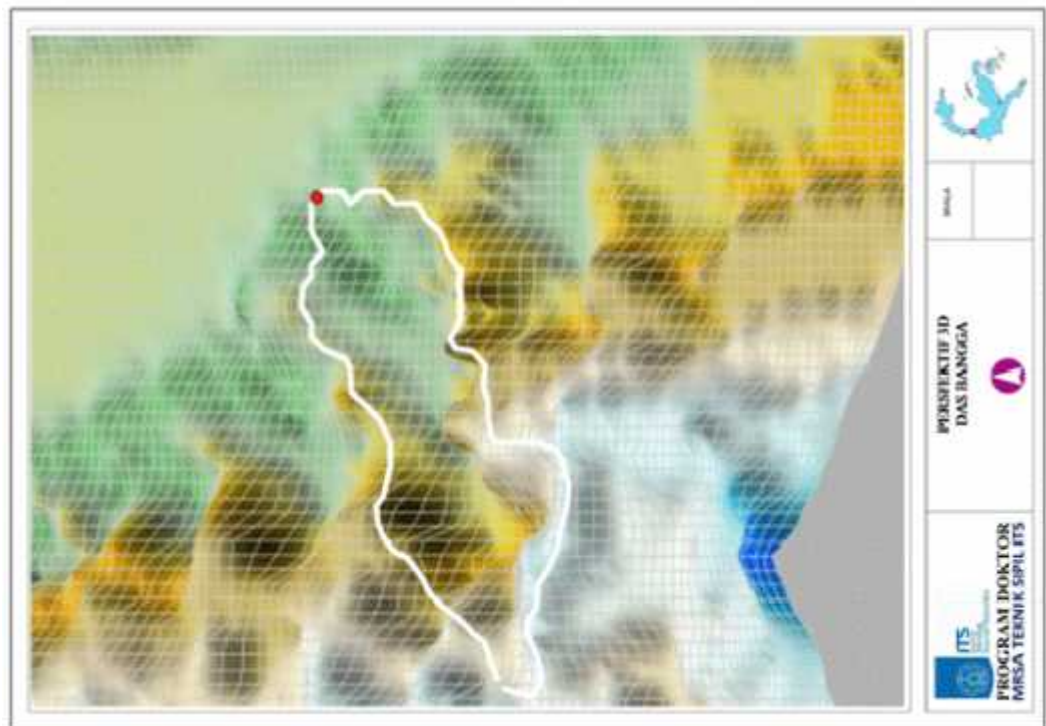
Gambar A2-1 Perspektif 3D DAS Bahomoleo



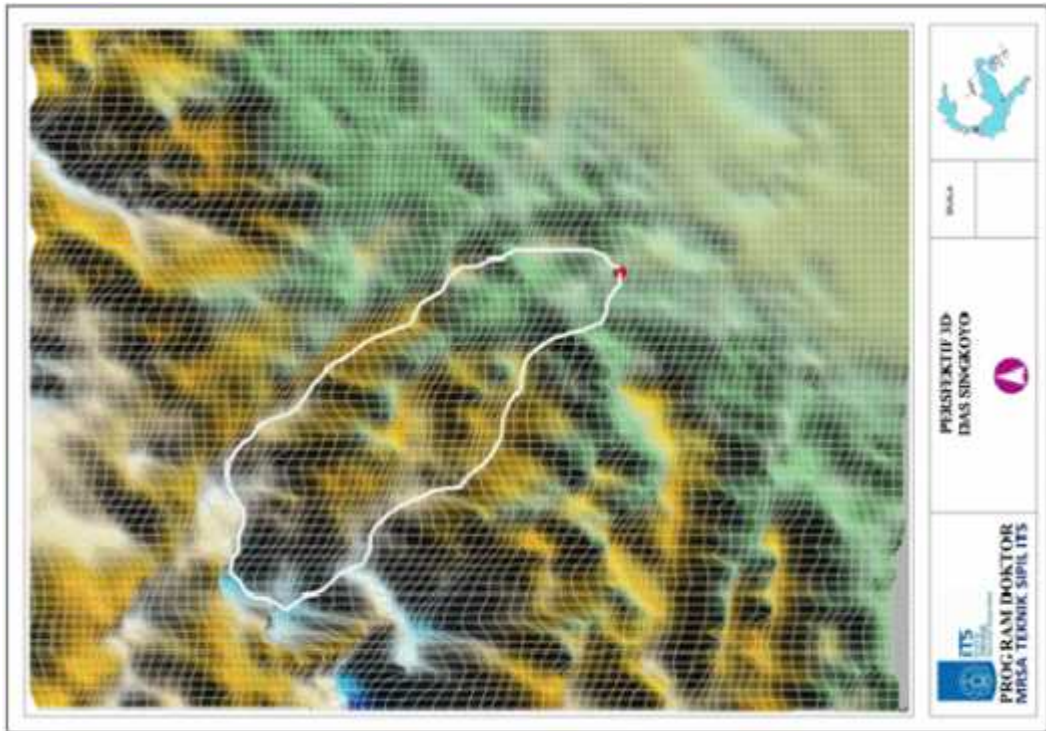
Gambar A2-2 Perspektif 3D DAS Pinamula



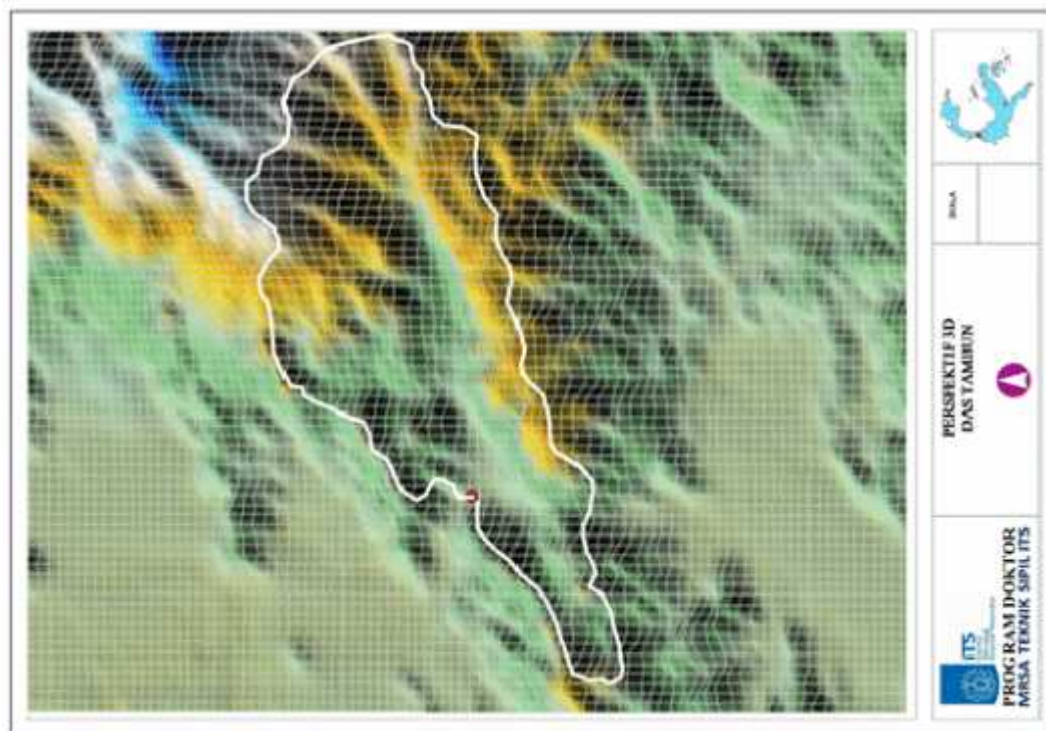
Gambar A2–3 Perspektif 3D DAS Toaya



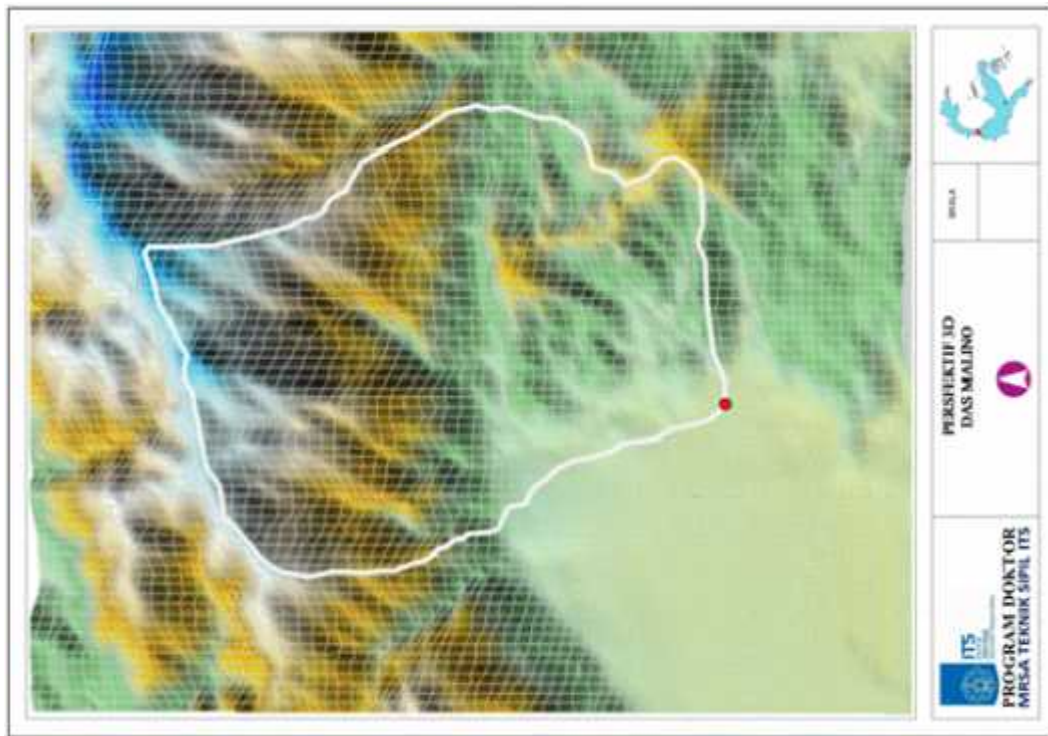
Gambar A2–4 Perspektif 3D DAS Bangga



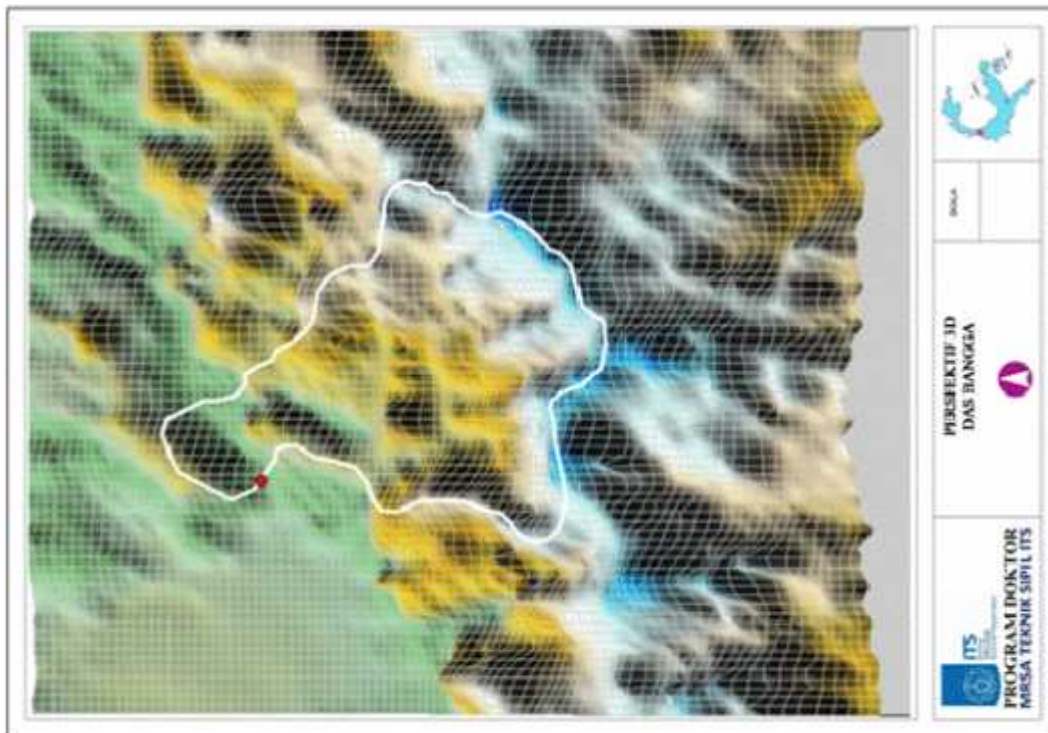
Gambar A2–5 Perspektif 3D DAS Singkoyo



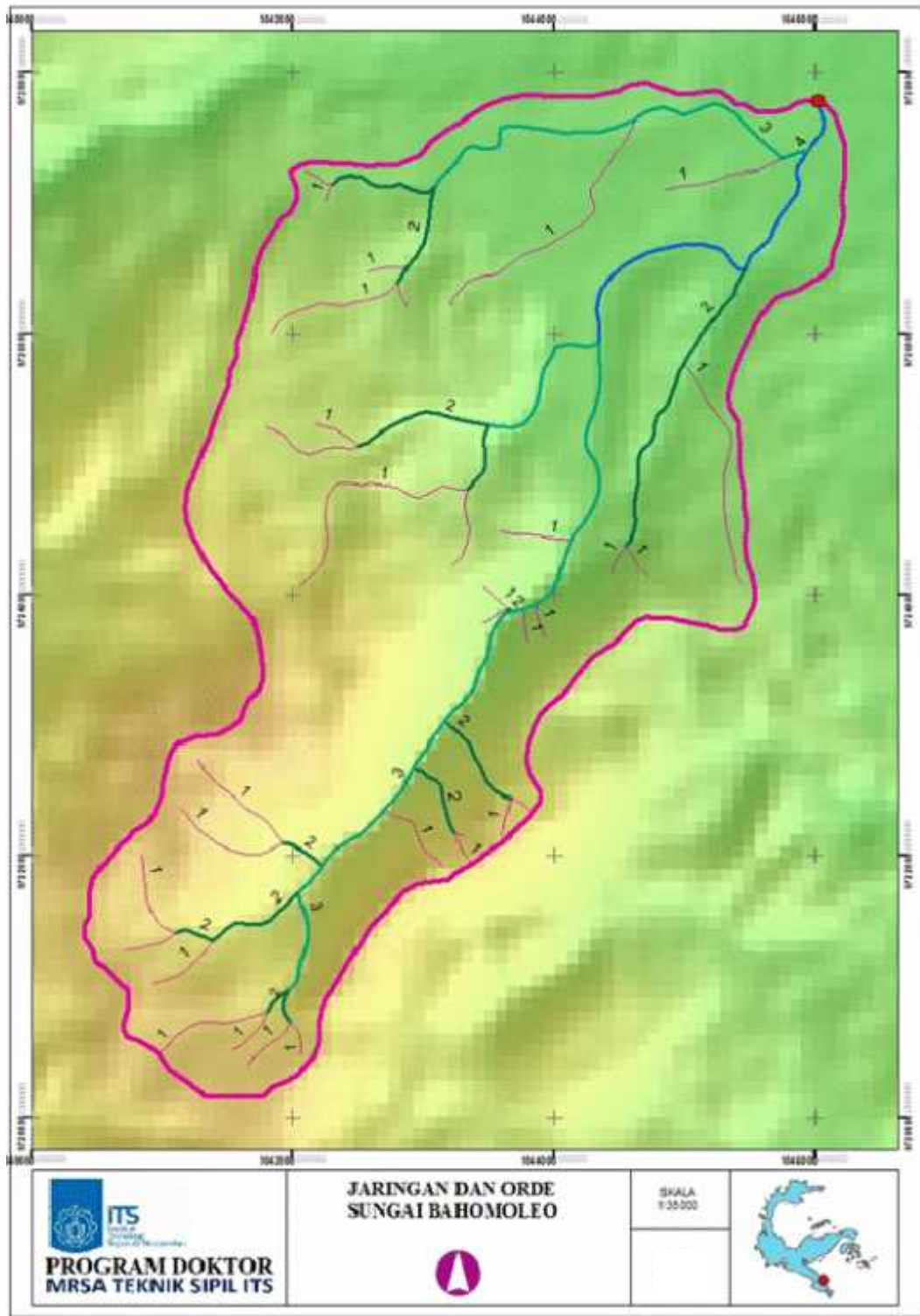
Gambar A2–6 Perspektif 3D DAS Tambun



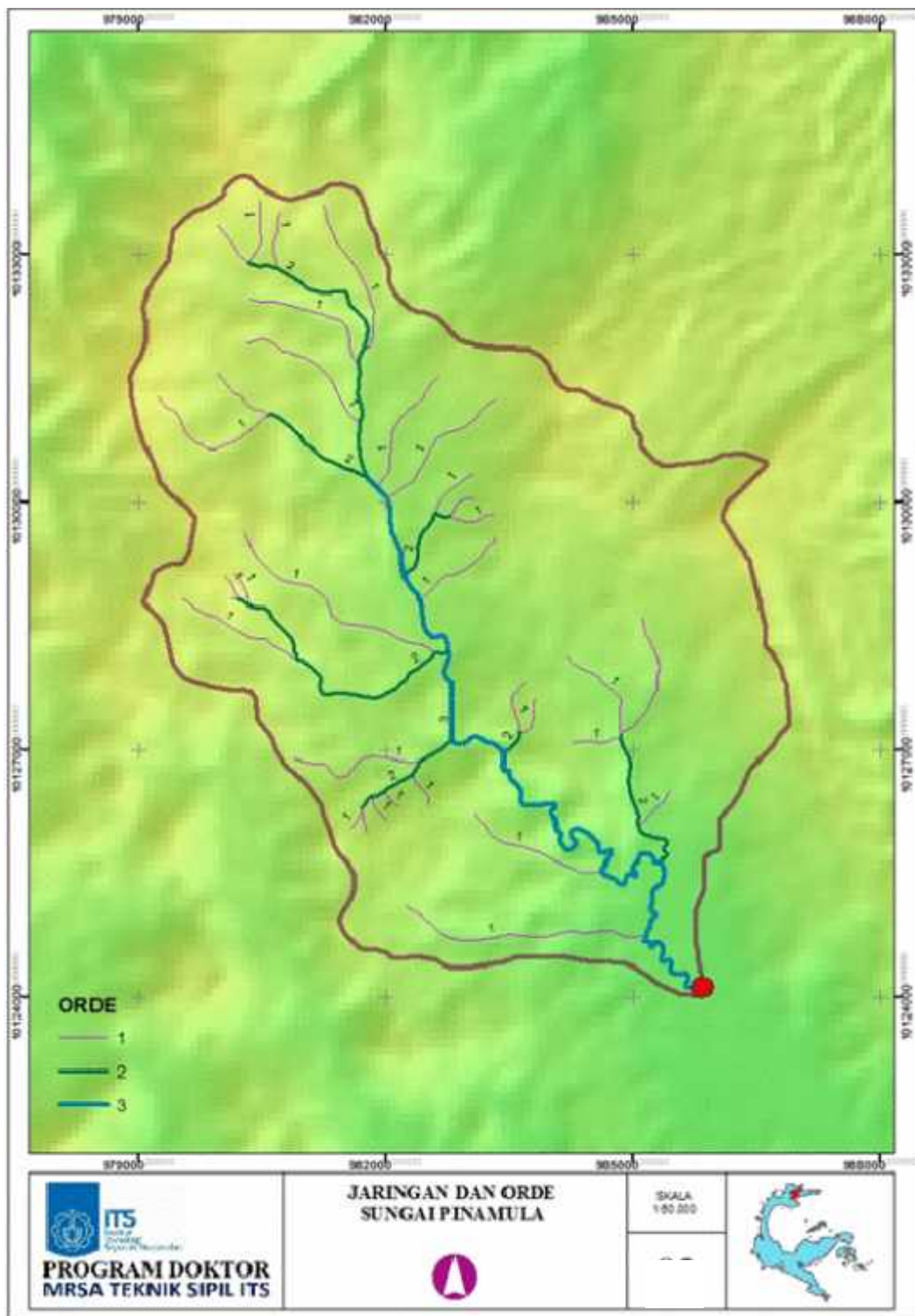
Gambar A2-7 Perspektif 3D DAS Malino



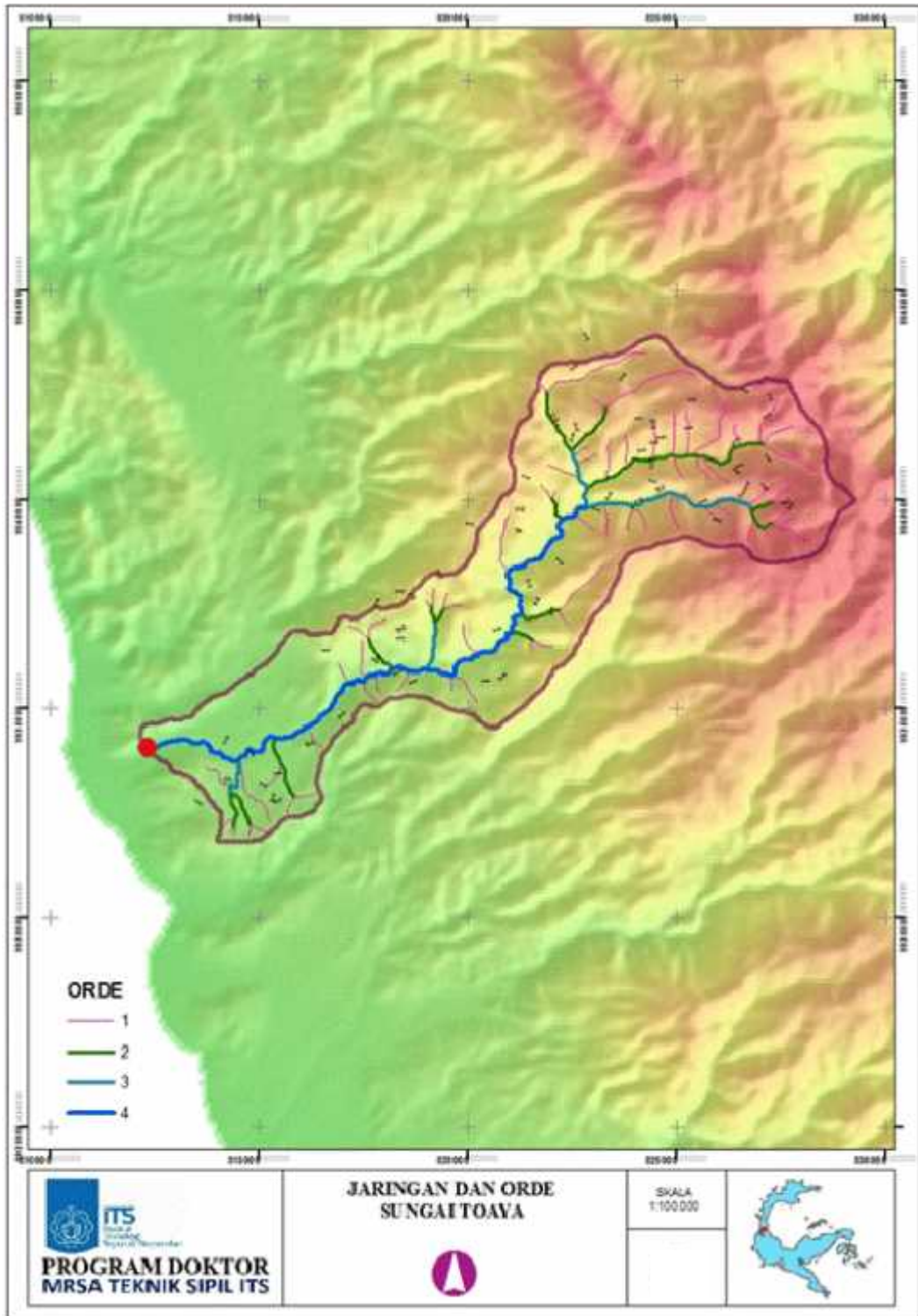
Gambar A2-8 Perspektif 3D DAS Bunta



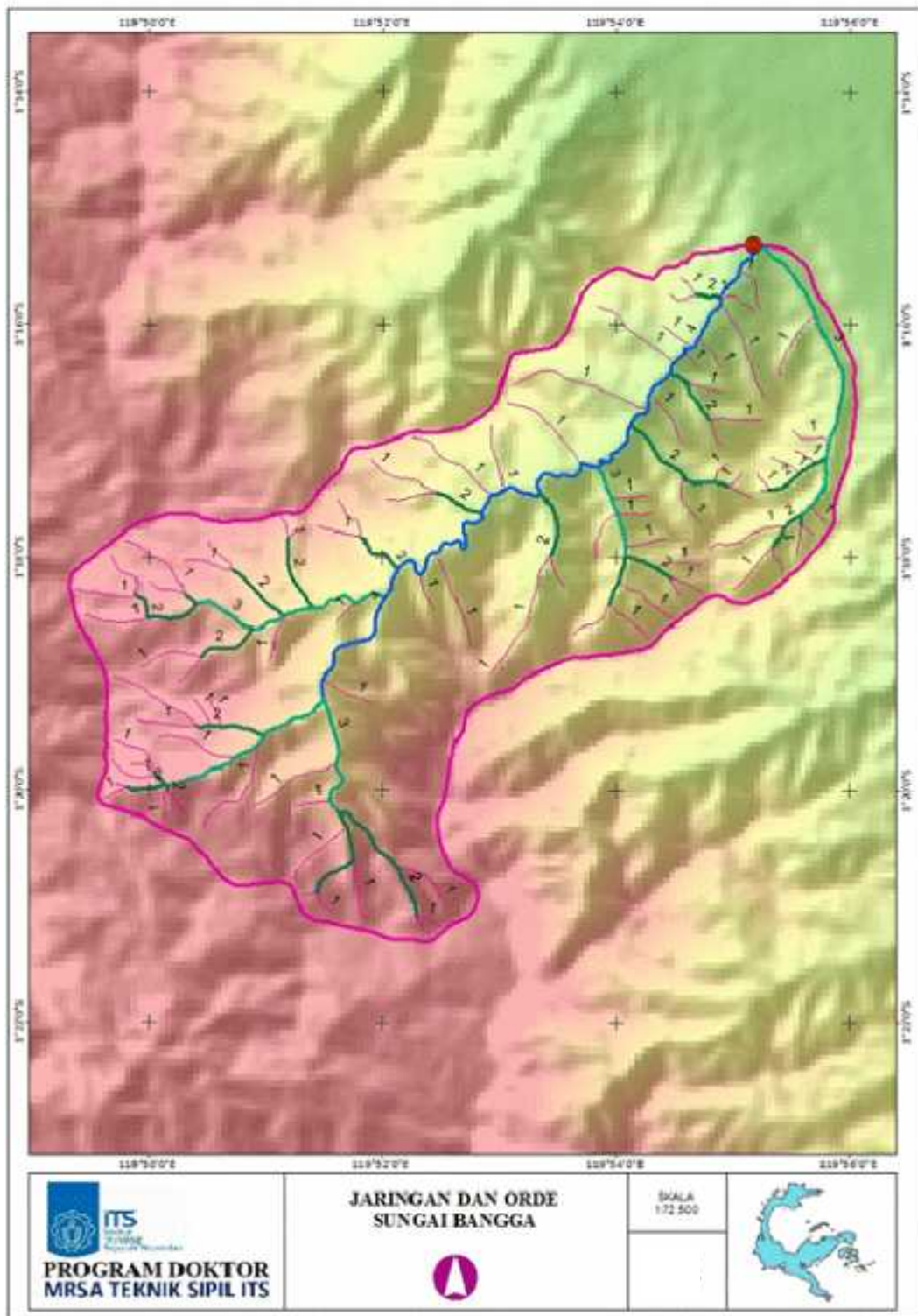
Gambar A3-1 Jaringan Sungai Bahomoleo



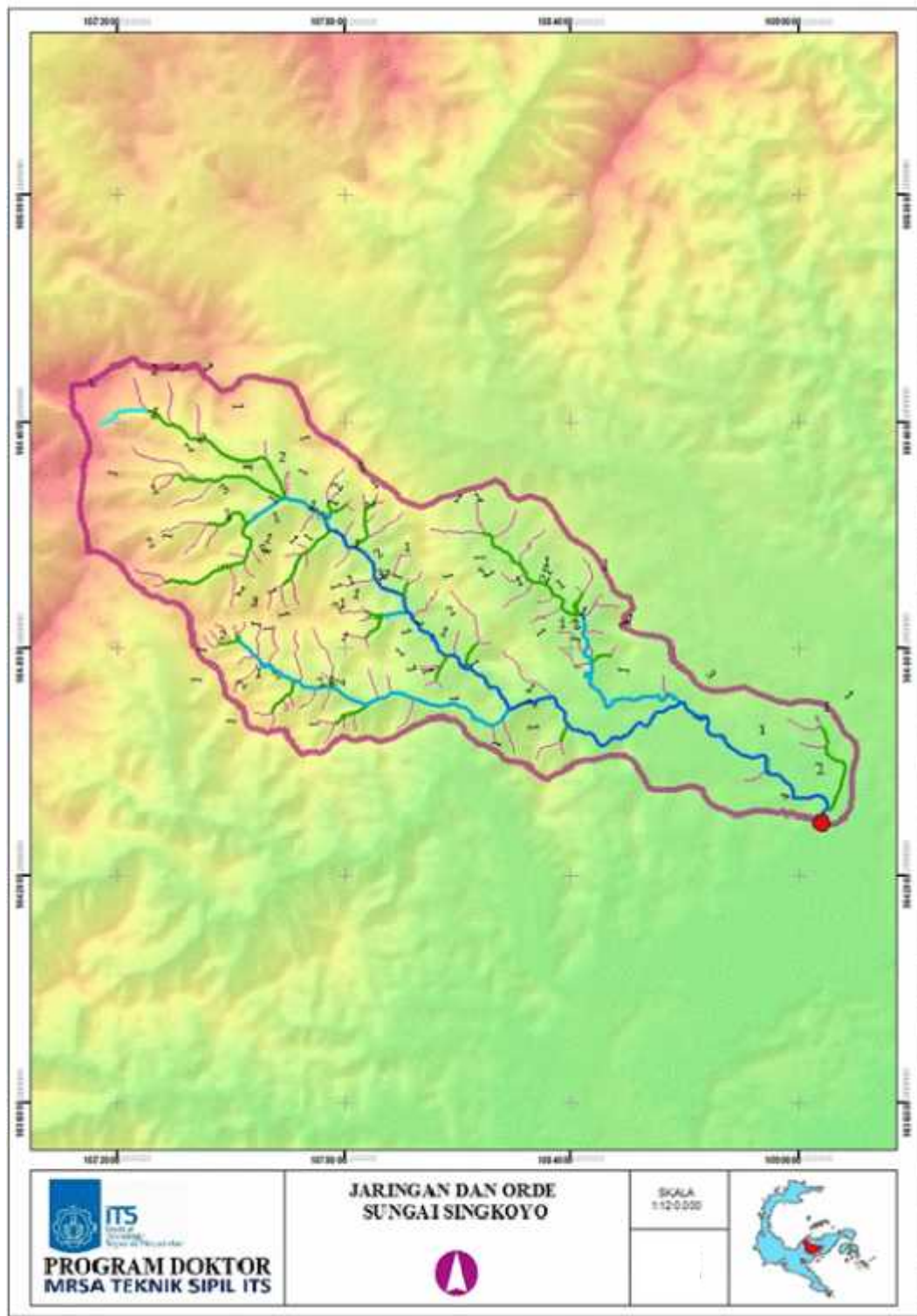
Gambar A3-2 Jaringan Sungai Pinamula



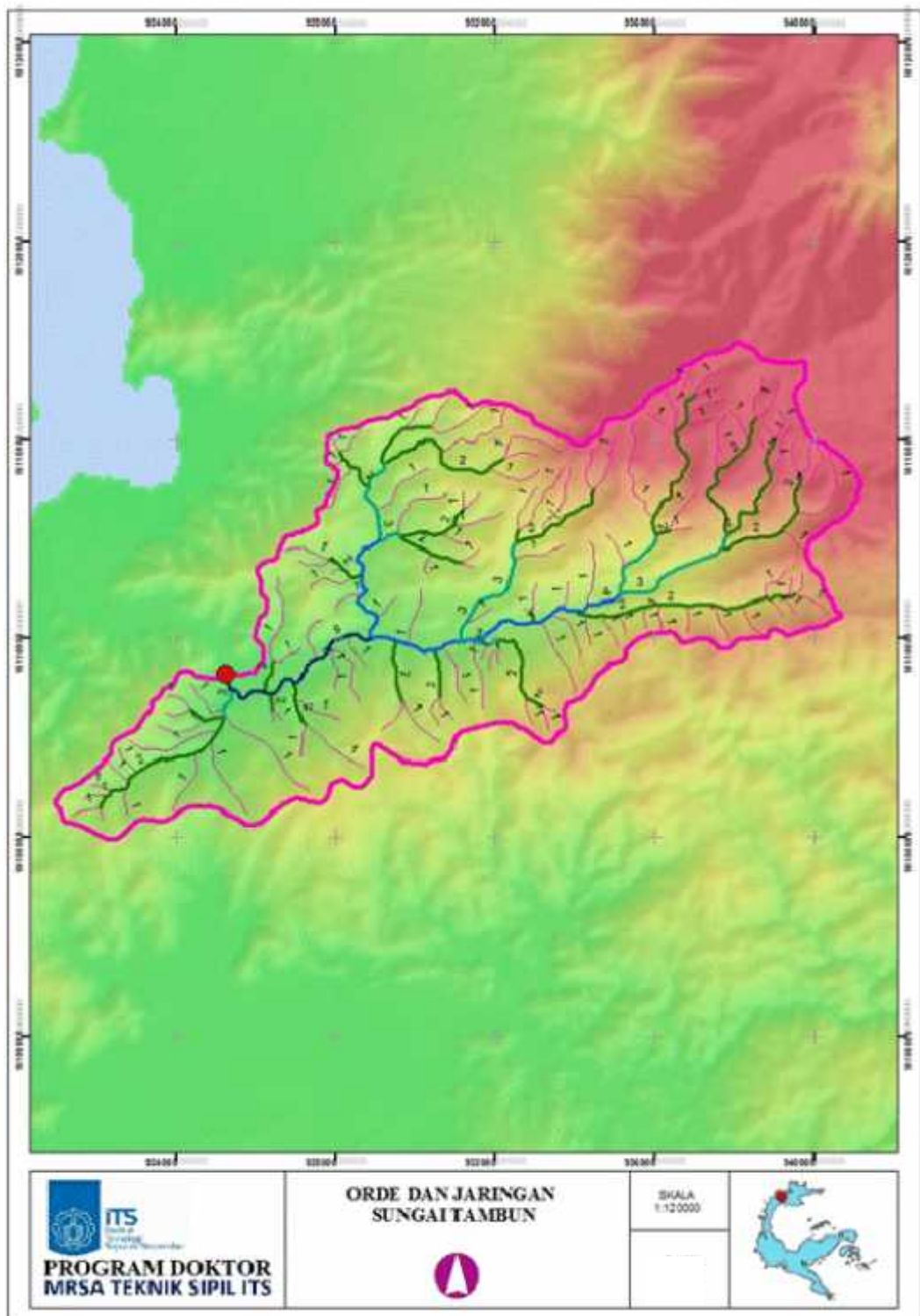
Gambar A3-3 Jaringan Sungai Toaya



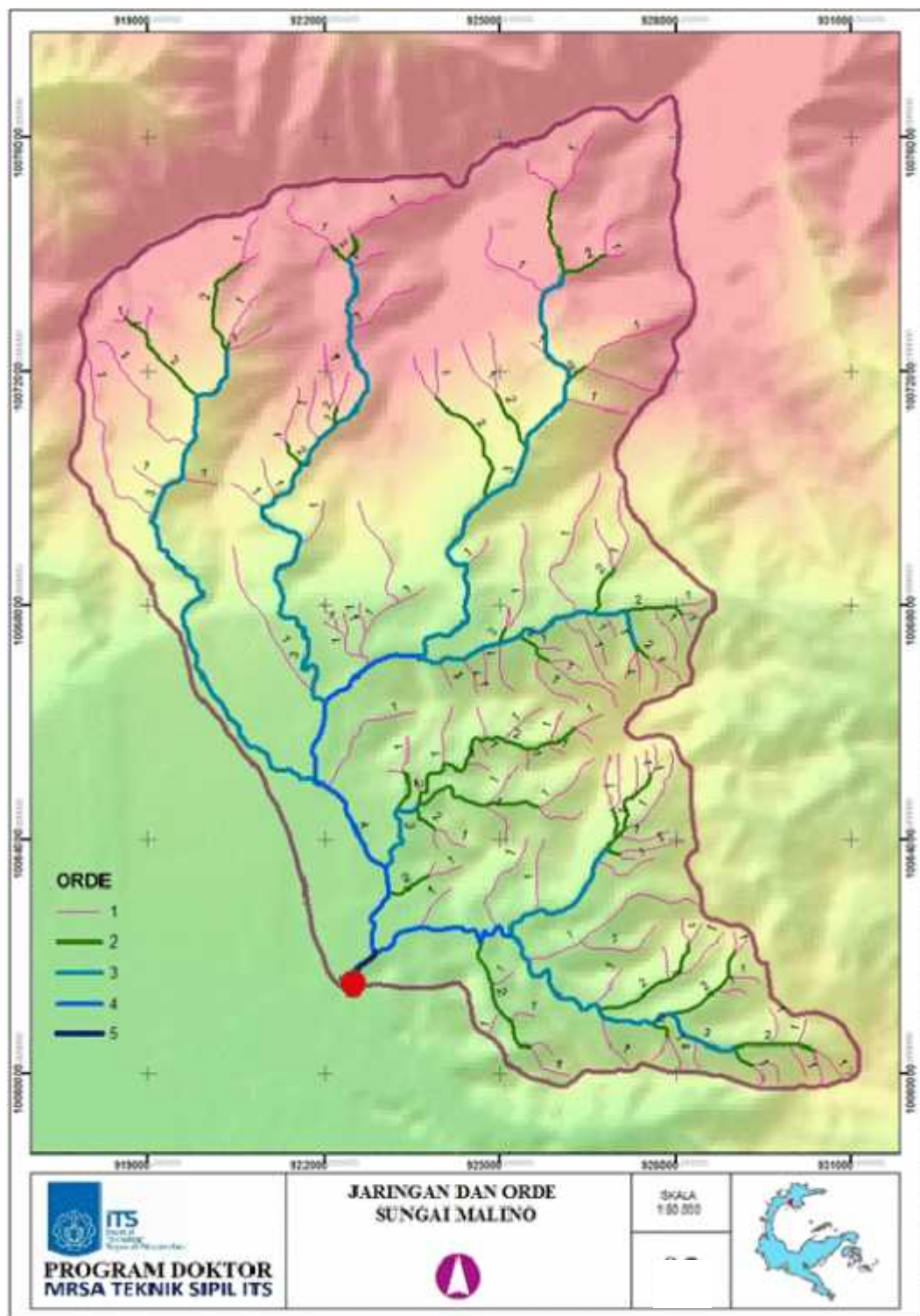
Gambar A3-4 Jaringan Sungai Bangga



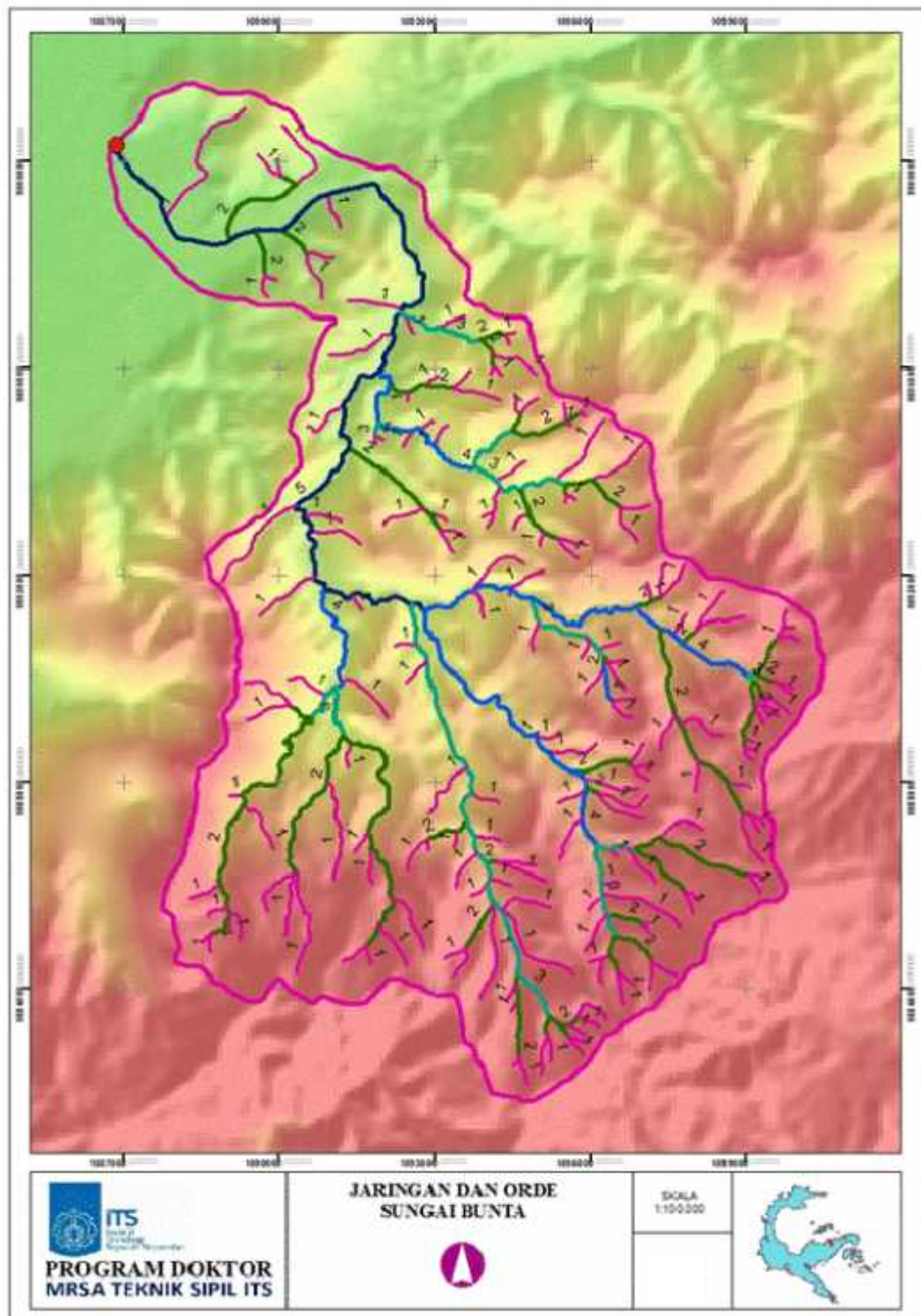
Gambar A3-5 Jaringan Sungai Singkoyo



Gambar A3-6 Jaringan Sungai Tambun



Gambar A3-7 Jaringan Sungai Malino



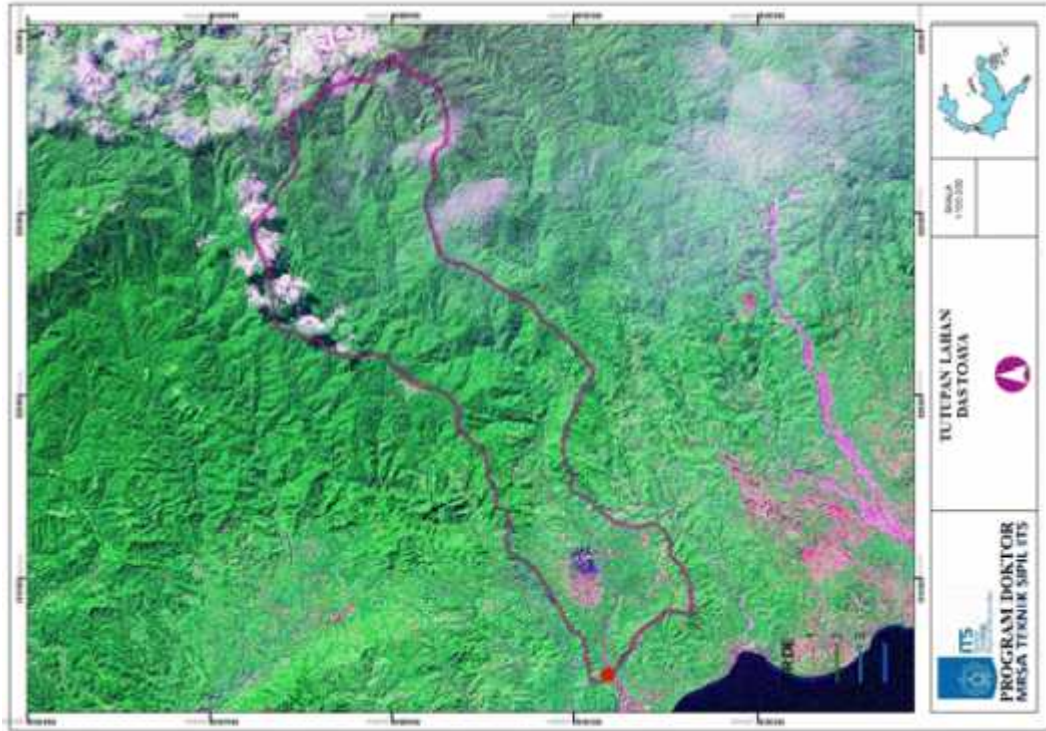
Gambar A3-8 Jaringan Sungai Bunta



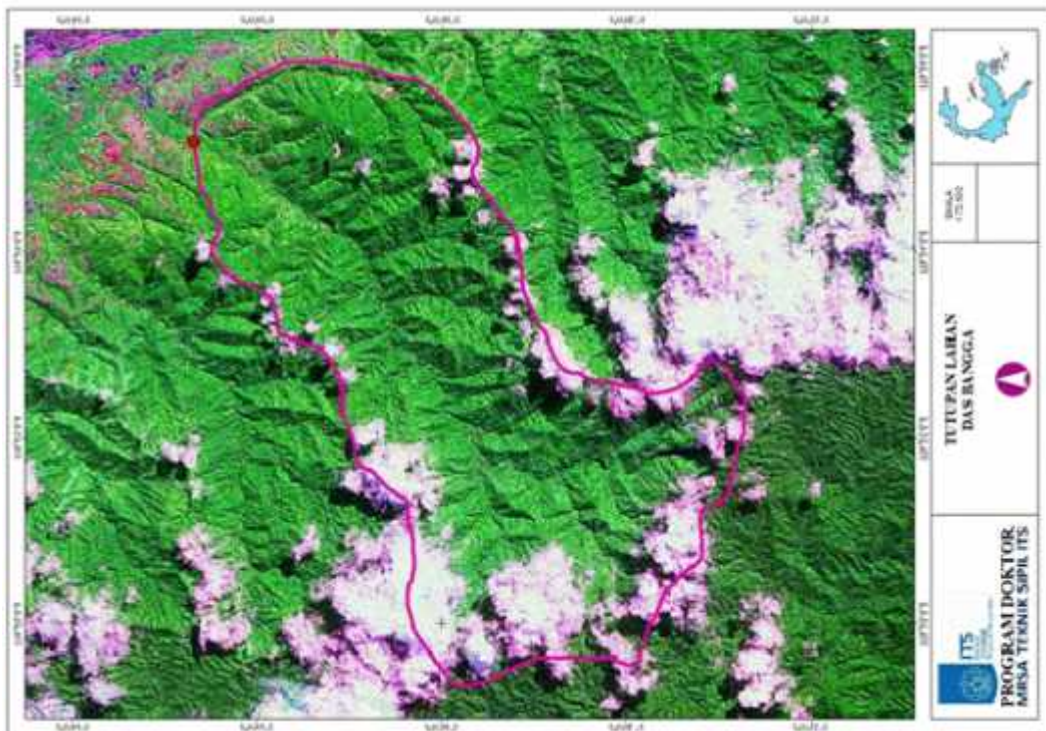
Gambar A4-1 Tutupan lahan DAS Bahomoleo



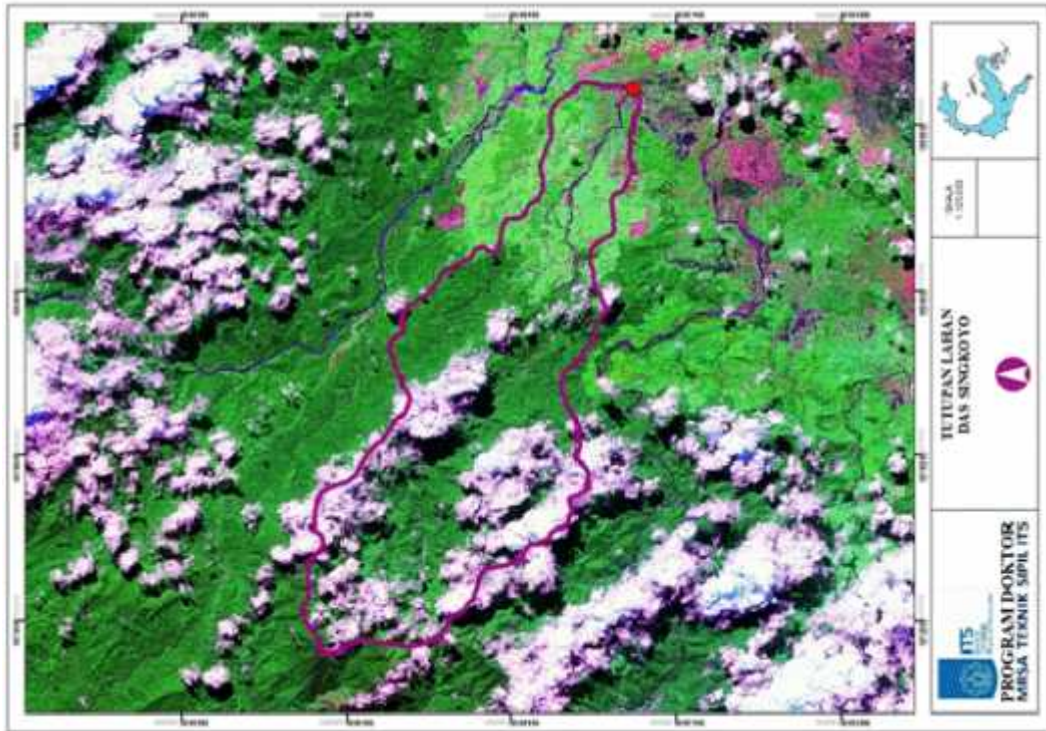
Gambar A4-2 Tutupan lahan DAS Pinamula



Gambar A4-3 Tutupan lahan DAS Toaya



Gambar A4-4 Tutupan lahan DAS Bangga



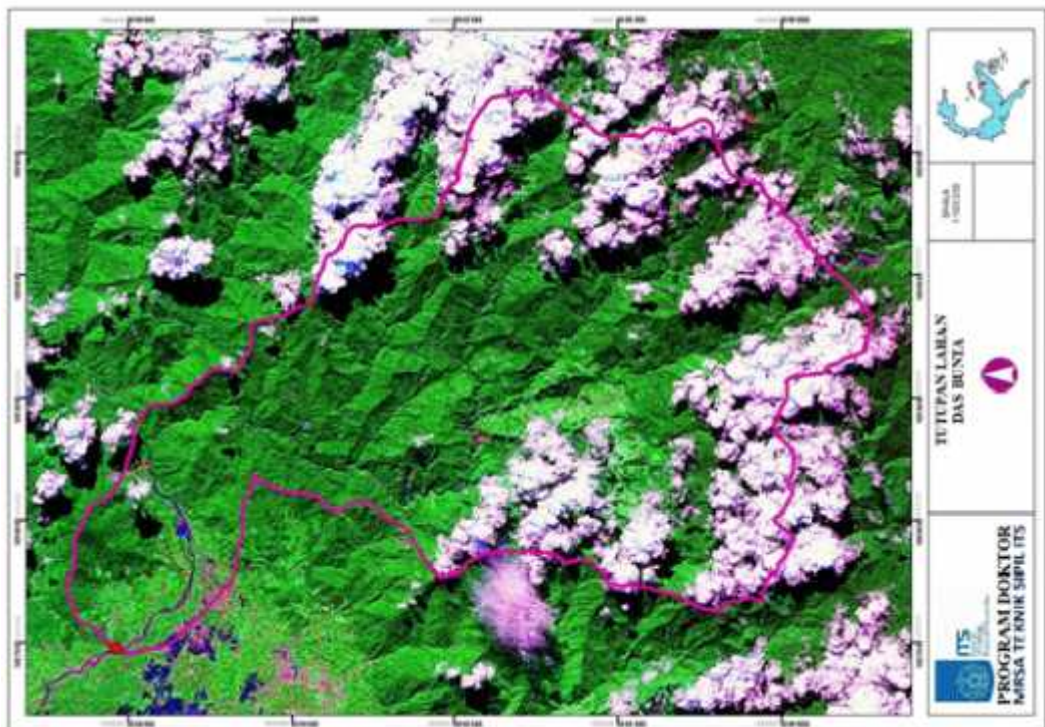
Gambar A4-5 Tutupan lahan DAS Singkoyo



Gambar A4-6 Tutupan lahan DAS Tambun



Gambar A4-7 Tutupan lahan DAS Malino



Gambar A4-8 Tutupan lahan DAS Bunta

LAMPIRAN B

HIDROGRAF SATUAN TERUKUR



Tabel B1-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (12 Januari 2010)

12 Januari 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.75	0.75	2.10	3.52	0.00	0.00	0.00	0.00
1	13.60	1.02	2.90	3.52	0.00	12.58	45279.72	1.70
2	11.22	1.29	10.90	3.52	7.38	9.93	35731.44	1.34
3	9.51	1.57	2.80	3.52	0.00	7.94	28595.16	1.08
4	8.08	1.84				6.24	22466.88	0.85
5	6.65	2.11				4.54	16338.60	0.61
6	5.68	2.38				3.30	11866.32	0.45
7	5.19	2.66				2.53	9122.04	0.34
8	4.78	2.93				1.85	6665.76	0.25
9	3.28	3.20				0.08	285.48	0.01
10	3.47	3.47				0.00	0.00	0.00
Jumlah							176351.40	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								7.38
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								3.52
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.38

Tabel B1-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (03 Pebruari 2010)

03 Pebruari 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.79	0.79	3.20	3.27	0.00	0.00	0.00	0.00
1	30.41	1.07	19.60	3.27	16.33	29.34	105608.52	1.80
2	20.52	1.36	2.10	3.27	0.00	19.16	68981.04	1.17
3	15.70	1.64				14.06	50605.56	0.86
4	11.32	1.93				9.39	33814.08	0.58
5	10.51	2.21				8.30	29874.60	0.51
6	9.25	2.50				6.75	24315.12	0.41
7	8.32	2.78				5.54	19943.64	0.34
8	7.24	3.06				4.18	15032.16	0.26
9	6.54	3.35				3.19	11488.68	0.20
10	6.00	3.63				2.37	8521.20	0.14
11	5.91	3.92				1.99	7173.72	0.12
12	5.83	4.20				1.63	5862.24	0.10
13	5.80	4.49				1.31	4730.76	0.08
14	5.70	4.77				0.93	3347.28	0.06
15	5.21	5.05				0.16	559.80	0.01
16	5.34	5.34				0.00	0.00	0.00
Jumlah							389858.40	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								16.33
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.27
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								16.33

Tabel B1-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (19 Maret 2010)

19 Maret 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.11	1.11	14.48	4.32	10.16	0.00	0.00	0.00
1	17.38	1.17	3.45	4.32	0.00	16.21	58354.92	1.60
2	14.31	1.23	3.40	4.32	0.00	13.08	47085.84	1.29
3	9.19	1.29	2.10	4.32	0.00	7.90	28436.76	0.78
4	8.40	1.35				7.05	25375.68	0.69
5	7.55	1.41				6.14	22098.60	0.60
6	6.01	1.47				4.54	16337.52	0.45
7	5.11	1.53				3.58	12880.44	0.35
8	4.55	1.59				2.96	10647.36	0.29
9	3.99	1.65				2.34	8414.28	0.23
10	3.52	1.71				1.81	6505.20	0.18
11	2.98	1.77				1.21	4344.12	0.12
12	2.34	1.83				0.51	1823.04	0.05
Jumlah							242685.72	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								10.16
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.32
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								10.16

Tabel B1-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (11 April 2010)

11 April 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.66	0.66	5.80	7.27	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.20	0.73	18.30	7.27	11.03	15.47	55677.96	1.40
2	16.13	0.80	4.80	7.27	0.00	15.33	55170.72	1.39
3	14.11	0.88				13.23	47643.48	1.20
4	10.78	0.95				9.83	35400.24	0.89
5	8.07	1.02				7.05	25389.00	0.64
6	5.49	1.09				4.40	15845.76	0.40
7	4.84	1.16				3.68	13250.52	0.33
8	4.28	1.23				3.05	10979.28	0.28
9	2.42	1.30				1.12	4028.04	0.10
10	1.37	1.37				0.00	0.00	0.00
Jumlah							263853.00	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								11.03
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								7.27
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.03

Tabel B1-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (14 April 2010)

14 April 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.72	0.72	6.40	7.66	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.45	0.89	12.40	7.66	4.74	7.56	27198.36	1.60
2	8.12	1.07	4.40	7.66	0.00	7.05	25369.92	1.49
3	7.83	1.25	2.50	7.66	0.00	6.58	23685.48	1.39
4	5.32	1.43				3.89	14009.04	0.82
5	4.30	1.61				2.69	9696.60	0.57
6	3.21	1.78				1.43	5132.16	0.30
7	3.10	1.96				1.14	4095.72	0.24
8	2.84	2.14				0.70	2519.28	0.15
9	2.70	2.32				0.38	1374.84	0.08
10	2.50	2.50				0.00	0.00	0.00
Jumlah							113081.40	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								4.74
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								7.66
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.74

Tabel B1-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (16 April 2010)

16 April 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.60	0.60	2.10	4.12	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.51	0.98	2.90	4.12	0.00	5.53	19901.16	0.76
2	8.65	1.36	11.40	4.12	7.28	7.29	26244.72	1.00
3	6.99	1.74	4.10	4.12	0.00	5.25	18908.28	0.72
4	6.65	2.12	3.00	4.12	0.00	4.53	16323.84	0.62
5	6.77	2.49				4.28	15395.40	0.59
6	6.76	2.87				3.89	13998.96	0.53
7	6.75	3.25				3.50	12602.52	0.48
8	6.74	3.63				3.11	11206.08	0.43
9	6.73	4.01				2.72	9809.64	0.37
10	6.72	4.38				2.34	8413.20	0.32
11	6.71	4.76				1.95	7016.76	0.27
12	6.70	5.14				1.56	5620.32	0.21
13	6.69	5.52				1.17	4223.88	0.16
14	6.68	5.89				0.79	2827.44	0.11
15	6.66	6.27				0.39	1395.00	0.05
16	6.65	6.65				0.00	0.00	0.00
Jumlah							173887.20	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								7.28
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.12
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.28

Tabel B1-7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (05 Mei 2010)

05 Mei 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.68	0.68	4.00	4.22	0.00	0.00	0.00	0.00
1	15.15	0.98	12.10	4.22	7.88	14.17	51019.78	1.80
2	12.62	1.27	2.10	4.22	0.00	11.35	40846.75	1.44
3	10.51	1.57	3.50	4.22	0.00	8.94	32185.73	1.13
4	9.02	1.87				7.15	25756.70	0.91
5	6.13	2.16				3.97	14287.68	0.50
6	5.25	2.46				2.79	10054.66	0.35
7	5.12	2.75				2.37	8521.63	0.30
8	4.12	3.05				1.07	3856.61	0.14
9	3.80	3.34				0.46	1639.58	0.06
10	3.64	3.64				0.00	0.00	0.00
Jumlah							188169.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								7.88
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								4.22
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.88

Tabel B1–8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (10 Mei 2010)

10 Mei 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
T	Q	Q _b	R	φ	R _{eff}	HLL	VLL	OHS
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	0.54	0.54	4.80	8.93	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2.82	0.70	16.20	8.93	7.27	2.12	7639.63	0.29
2	6.67	0.86	5.80	8.93	0.00	5.81	20927.66	0.80
3	6.82	1.02	3.00	8.93	0.00	5.80	20895.70	0.80
4	6.71	1.17	2.10	8.93	0.00	5.54	19927.73	0.76
5	6.53	1.33				5.20	18707.76	0.71
6	6.23	1.49				4.74	17055.79	0.65
7	6.24	1.65				4.59	16519.82	0.63
8	6.11	1.81				4.30	15479.86	0.59
9	4.32	1.97				2.35	8463.89	0.32
10	4.10	2.13				1.97	7099.92	0.27
11	4.00	2.29				1.71	6167.95	0.24
12	3.98	2.45				1.53	5523.98	0.21
13	3.70	2.60				1.10	3944.02	0.15
14	3.64	2.76				0.88	3156.05	0.12
15	3.51	2.92				0.59	2116.08	0.08
16	3.08	3.08				0.00	0.00	0.00
Jumlah							173625.84	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.27
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.93
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.27

Tabel B1–9 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (18 Juni 2010)

18 Juni 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.56	0.56	3.50	5.35	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3.56	0.73	9.70	5.35	4.35	2.83	10181.23	0.65
2	8.71	0.90	3.50	5.35	0.00	7.81	28106.06	1.79
3	6.21	1.07	3.20	5.35	0.00	5.14	18490.90	1.18
4	5.45	1.24				4.21	15139.73	0.97
5	5.32	1.42				3.90	14056.56	0.90
6	4.15	1.59				2.56	9229.39	0.59
7	3.24	1.76				1.48	5338.22	0.34
8	2.52	1.93				0.59	2131.06	0.14
9	2.43	2.10				0.33	1191.89	0.08
10	2.27	2.27				0.00	0.00	0.00
Jumlah							103865.04	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								4.35
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								5.35
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.35

Tabel B1–10 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (22 Juni 2010)

22 Juni 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.86	0.86	5.30	6.51	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.42	1.02	4.40	6.51	0.00	9.40	33833.23	2.00
2	9.19	1.18	11.20	6.51	4.69	8.01	28826.06	1.71
3	7.38	1.34	1.80	6.51	0.00	6.04	21730.90	1.29
4	5.11	1.50				3.61	12979.73	0.77
5	4.08	1.67				2.41	8692.56	0.51
6	2.43	1.83				0.60	2173.39	0.13
7	2.51	1.99				0.52	1882.22	0.11
8	2.50	2.15				0.35	1267.06	0.08
9	2.49	2.31				0.18	651.89	0.04
10	2.47	2.47				0.00	0.00	0.00
Jumlah							112037.04	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								4.69
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.51
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.69

Tabel B1-11 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bahomoleo (25 Agustus 2010)

25 Agustus 2010						Luas DAS (A, km ²) = 23.88		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.77	0.77	1.50	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.58	0.93	6.10	2.07	4.03	7.65	27551.23	1.90
2	7.31	1.09	1.90	2.07	0.00	6.22	22403.66	1.54
3	5.91	1.25	1.30	2.07	0.00	4.66	16788.10	1.16
4	4.15	1.41				2.74	9876.53	0.68
5	3.78	1.57				2.21	7968.96	0.55
6	3.33	1.73				1.60	5773.39	0.40
7	2.82	1.89				0.93	3361.82	0.23
8	2.52	2.05				0.47	1706.26	0.12
9	2.43	2.21				0.22	806.69	0.06
10	2.37	2.37				0.00	0.00	0.00
Jumlah							96236.64	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								4.03
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								2.07
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.03

Tabel B2-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (27 Juni 2013)

27 Juni 2013						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.93	0.93	4.40	5.31	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.12	1.15	16.70	5.31	11.39	8.97	32283.58	0.79
2	20.08	1.37	5.30	5.31	0.00	18.71	67339.15	1.64
3	24.37	1.60	5.00	5.31	0.00	22.77	81988.90	2.00
4	23.41	1.82	2.20	5.31	0.00	21.59	77726.30	1.90
5	22.59	2.04				20.55	73973.88	1.80
6	18.63	2.26				16.37	58917.46	1.44
7	15.31	2.49				12.82	46165.03	1.13
8	13.28	2.71				10.57	38056.61	0.93
9	9.62	2.93				6.69	24080.18	0.59
10	8.47	3.15				5.32	19139.76	0.47
11	6.42	3.38				3.04	10959.34	0.27
12	5.75	3.60				2.15	7746.91	0.19
13	5.45	3.82				1.63	5866.49	0.14
14	5.44	4.04				1.40	5030.06	0.12
15	5.43	4.27				1.16	4193.64	0.10
16	5.42	4.49				0.93	3357.22	0.08
17	5.41	4.71				0.70	2520.79	0.06
18	5.40	4.93				0.47	1684.37	0.04
19	5.39	5.15				0.24	847.94	0.02
20	5.38	5.38				0.00	0.00	0.00
Jumlah							561877.61	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								11.39
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.31
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.39

Tabel B2-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (29 Juni 2013)

29 Juni 2013						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.25	1.25	2.00	4.39	0.00	0.00	0.00	0.00
1	11.20	1.48	9.40	4.39	5.01	9.72	34976.38	1.94
2	16.23	1.72	3.70	4.39	0.00	14.51	52240.75	2.90
3	14.11	1.95	2.60	4.39	0.00	12.16	43765.13	2.43
4	12.75	2.19				10.56	38025.50	2.11
5	9.62	2.42				7.20	25913.88	1.44
6	7.49	2.66				4.83	17402.26	0.97
7	6.24	2.89				3.35	12058.63	0.67
8	5.32	3.12				2.20	7903.01	0.44
9	5.02	3.36				1.66	5979.38	0.33
10	4.58	3.59				0.99	3551.76	0.20
11	4.57	3.83				0.74	2672.14	0.15
12	4.56	4.06				0.50	1792.51	0.10
13	4.55	4.30				0.25	912.89	0.05
14	4.53	4.53				0.00	0.00	0.00
Jumlah							247194.22	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								5.01
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								4.39
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.01

Tabel B2-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (30 Agustus 2013)

30 Agustus 2013						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.02	1.02	21.20	9.49	11.71	0.00	7.20	0.00
1	20.04	1.26	6.70	9.49	0.00	18.78	67602.10	1.60
2	40.14	1.51	3.60	9.49	0.00	38.63	139084.99	3.30
3	34.68	1.75				32.93	118551.89	2.81
4	22.22	1.99				20.23	72818.78	1.73
5	16.78	2.24				14.54	52357.68	1.24
6	12.83	2.48				10.35	37260.58	0.88
7	10.54	2.72				7.82	28139.47	0.67
8	8.70	2.97				5.73	20638.37	0.49
9	7.32	3.21				4.11	14793.26	0.35
10	6.26	3.45				2.81	10100.16	0.24
11	5.45	3.70				1.75	6307.06	0.15
12	5.02	3.94				1.08	3881.95	0.09
13	5.01	4.19				0.82	2968.85	0.07
14	5.00	4.43				0.57	2055.74	0.05
15	4.99	4.67				0.32	1142.64	0.03
16	4.92	4.92				0.00	0.00	0.00
Jumlah							577710.72	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								11.71
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.49
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.71

Tabel B2-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (19 Oktober 2013)

19 Oktober 2013						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.13	1.13	19.70	8.46	11.24	0.00	0.00	0.00
1	13.03	1.38	7.10	8.46	0.00	11.65	41937.70	1.04
2	35.41	1.63	5.60	8.46	0.00	33.78	121596.19	3.00
3	34.54	1.89	1.60	8.46	0.00	32.65	117554.69	2.90
4	28.44	2.14				26.30	94685.18	2.34
5	19.97	2.39				17.58	63283.68	1.56
6	14.57	2.64				11.93	42934.18	1.06
7	11.38	2.90				8.48	30540.67	0.75
8	9.36	3.15				6.21	22359.17	0.55
9	7.83	3.40				4.43	15941.66	0.39
10	4.44	3.65				0.79	2828.16	0.07
11	4.25	3.91				0.34	1234.66	0.03
12	4.16	4.16				0.00	0.00	0.00
Jumlah							554895.94	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								11.24
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.46
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.24

Tabel B2-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (28 Januari 2013)

28 Januari 2013						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.03	1.03	3.70	6.64	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.24	1.18	4.90	6.64	0.00	9.06	32613.70	1.15
2	19.41	1.33	14.50	6.64	7.86	18.08	65076.19	2.30
3	18.68	1.49	4.80	6.64	0.00	17.19	61898.69	2.19
4	18.01	1.64	4.80	6.64	0.00	16.37	58937.18	2.08
5	16.84	1.79				15.05	54175.68	1.91
6	13.00	1.94				11.06	39802.18	1.41
7	9.03	2.10				6.93	24960.67	0.88
8	6.86	2.25				4.61	16599.17	0.59
9	5.10	2.40				2.70	9713.66	0.34
10	4.40	2.55				1.85	6644.16	0.23
11	4.10	2.71				1.39	5014.66	0.18
12	3.84	2.86				0.98	3529.15	0.12
13	3.83	3.01				0.82	2943.65	0.10
14	3.82	3.16				0.66	2358.14	0.08
15	3.81	3.32				0.49	1772.64	0.06
16	3.80	3.47				0.33	1187.14	0.04
17	3.79	3.62				0.17	601.63	0.02
18	3.78	3.78				0.00	0.00	0.00
Jumlah							387828.29	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								7.86
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.64
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.86

Tabel B2-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (15 Pebruari 2014)

15 Pebruari 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.00	1.00	7.50	9.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.52	1.15	18.10	9.01	9.09	15.37	55322.50	1.69
2	24.05	1.31	5.10	9.01	0.00	22.74	81873.79	2.50
3	23.65	1.46	1.70	9.01	0.00	22.19	79877.09	2.44
4	19.25	1.62				17.63	63480.38	1.94
5	15.60	1.77				13.83	49783.68	1.52
6	12.34	1.93				10.41	37490.98	1.15
7	9.51	2.08				7.43	26746.27	0.82
8	7.56	2.24				5.32	19169.57	0.59
9	6.16	2.39				3.77	13572.86	0.41
10	5.20	2.54				2.66	9560.16	0.29
11	4.25	2.70				1.55	5583.46	0.17
12	3.51	2.85				0.66	2362.75	0.07
13	3.50	3.01				0.49	1770.05	0.05
14	3.49	3.16				0.33	1177.34	0.04
15	3.48	3.32				0.16	584.64	0.02
16	3.47	3.47				0.00	0.00	0.00
Jumlah							448355.52	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								9.09
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.01
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								9.09

Tabel B2-7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (11 Maret 2014)

11 Maret 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.12	1.12	5.00	6.88	0.00	0.00	0.00	0.00
1	25.91	1.28	5.20	6.88	0.00	24.63	88678.30	3.15
2	23.15	1.43	14.70	6.88	7.82	21.72	78193.87	2.78
3	22.18	1.58	2.90	6.88	0.00	20.60	74162.81	2.64
4	15.96	1.73				14.23	51211.35	1.82
5	11.61	1.89				9.73	35013.50	1.24
6	8.35	2.04				6.31	22732.44	0.81
7	5.76	2.19				3.57	12841.79	0.46
8	5.30	2.34				2.96	10643.33	0.38
9	4.54	2.50				2.04	7358.90	0.26
10	3.95	2.65				1.30	4676.69	0.17
11	2.86	2.80				0.06	201.14	0.01
12	2.95	2.95				0.00	0.00	0.00
Jumlah							385714.13	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.82
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.88
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.82

Tabel B2–8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (15 April 2014)

15 April 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.82	0.82	3.80	6.85	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.08	1.18	17.20	6.85	10.35	4.90	17650.30	0.47
2	18.12	1.53	6.10	6.85	0.00	16.59	59725.87	1.60
3	22.61	1.88	3.80	6.85	0.00	20.73	74621.45	2.00
4	22.14	2.23	4.70	6.85	0.00	19.91	71661.02	1.92
5	21.93	2.59				19.34	69636.60	1.87
6	18.11	2.94				15.17	54616.18	1.47
7	14.99	3.29				11.70	42115.75	1.13
8	12.71	3.64				9.07	32639.33	0.88
9	10.91	4.00				6.91	24890.90	0.67
10	9.68	4.35				5.33	19194.48	0.52
11	8.68	4.70				3.98	14326.06	0.38
12	7.88	5.05				2.83	10177.63	0.27
13	7.23	5.41				1.82	6569.21	0.18
14	7.21	5.76				1.45	5228.78	0.14
15	7.20	6.11				1.09	3924.36	0.11
16	7.19	6.46				0.73	2619.94	0.07
17	7.18	6.81				0.37	1315.51	0.04
18	7.17	7.17				0.00	0.00	0.00
Jumlah							510913.37	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								10.35
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								6.85
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								10.35

Tabel B2-9 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (17 April 2014)

17 April 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.92	0.92	1.00	5.05	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.24	1.26	7.60	5.05	2.55	4.98	17938.30	1.95
2	6.30	1.59	1.10	5.05	0.00	4.71	16957.87	1.85
3	6.52	1.92	0.70	5.05	0.00	4.60	16553.45	1.80
4	6.41	2.25				4.16	14961.02	1.63
5	6.32	2.59				3.73	13440.60	1.46
6	6.10	2.92				3.18	11452.18	1.25
7	5.68	3.25				2.43	8743.75	0.95
8	5.64	3.58				2.06	7403.33	0.81
9	5.63	3.92				1.71	6170.90	0.67
10	5.62	4.25				1.37	4938.48	0.54
11	5.61	4.58				1.03	3706.06	0.40
12	5.60	4.91				0.69	2473.63	0.27
13	5.59	5.25				0.34	1241.21	0.14
14	5.58	5.58				0.00	0.00	0.00
Jumlah							125980.78	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								2.55
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								5.05
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								2.55

Tabel B2–10 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (05 Mei 2014)

05 Mei 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.91	0.91	3.70	7.92	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.32	1.15	11.70	7.92	3.78	5.17	18618.70	1.37
2	10.46	1.38	5.40	7.92	0.00	9.08	32682.67	2.40
3	9.52	1.61	5.30	7.92	0.00	7.91	28458.65	2.09
4	8.56	1.85	5.10	7.92	0.00	6.71	24162.62	1.77
5	5.60	2.08				3.52	12666.60	0.93
6	5.50	2.31				3.19	11466.58	0.84
7	5.40	2.55				2.85	10266.55	0.75
8	5.30	2.78				2.52	9066.53	0.67
9	5.20	3.01				2.19	7866.50	0.58
10	5.19	3.25				1.94	6990.48	0.51
11	5.18	3.48				1.70	6114.46	0.45
12	5.17	3.71				1.46	5238.43	0.38
13	5.16	3.95				1.21	4362.41	0.32
14	5.15	4.18				0.97	3486.38	0.26
15	5.14	4.41				0.73	2610.36	0.19
16	5.13	4.65				0.48	1734.34	0.13
17	5.12	4.88				0.24	858.31	0.06
18	5.11	5.11				0.00	0.00	0.00
Jumlah							186650.57	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								3.78
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								7.92
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.78

Tabel B2-11 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (18 Mei 2014)

18 Mei 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.02	1.02	2.80	9.36	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.20	1.15	18.10	9.36	8.74	15.05	54193.18	1.72
2	20.45	1.27	5.70	9.36	0.00	19.18	69034.75	2.20
3	19.15	1.40	5.70	9.36	0.00	17.75	63896.33	2.03
4	17.86	1.53	3.60	9.36	0.00	16.33	58793.90	1.87
5	16.56	1.66				14.90	53655.48	1.71
6	12.52	1.78				10.74	38653.06	1.23
7	9.78	1.91				7.87	28330.63	0.90
8	7.98	2.04				5.94	21392.21	0.68
9	6.40	2.17				4.23	15245.78	0.48
10	5.05	2.29				2.76	9927.36	0.32
11	4.17	2.42				1.75	6300.94	0.20
12	3.99	2.55				1.44	5194.51	0.17
13	3.60	2.67				0.93	3332.09	0.11
14	3.40	2.80				0.60	2153.66	0.07
15	3.20	2.93				0.27	975.24	0.03
16	3.06	3.06				0.00	0.00	0.00
Jumlah							431079.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								8.74
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.36
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.74

Tabel B2–12 Hidrograf Satuan Terukur DAS Pinamula (19 Juni 2014)

19 Juni 2014						Luas DAS (A, km ²) = 49.35		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	0.82	0.82	5.60	7.87	0.00	0.00	0.00	0.00
1	27.63	0.97	17.00	7.87	9.13	26.66	95989.18	2.92
2	22.10	1.11	1.30	7.87	0.00	20.99	75550.75	2.30
3	19.32	1.26				18.06	65012.33	1.98
4	15.29	1.41				13.88	49973.90	1.52
5	12.94	1.56				11.38	40983.48	1.25
6	10.33	1.70				8.63	31057.06	0.95
7	8.34	1.85				6.49	23362.63	0.71
8	6.81	2.00				4.81	17324.21	0.53
9	6.02	2.15				3.87	13949.78	0.42
10	4.77	2.29				2.48	8919.36	0.27
11	4.50	2.44				2.06	7416.94	0.23
12	4.32	2.59				1.73	6238.51	0.19
13	4.10	2.73				1.37	4916.09	0.15
14	4.02	2.88				1.14	4097.66	0.12
15	3.85	3.03				0.82	2955.24	0.09
16	3.72	3.18				0.54	1956.82	0.06
17	3.50	3.32				0.18	634.39	0.02
18	3.47	3.47				0.00	0.00	0.00
Jumlah							450338.33	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								9.13
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								7.87
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								9.13

Tabel B3-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (26 Juni 2013)

26 Juni 2013						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.32	1.32	7.40	1.76	5.64	0.00	0.00	0.00
1	24.12	1.59	1.60	1.76	0.00	22.53	81121.18	4.00
2	20.12	1.85				18.27	65762.35	3.24
3	15.51	2.12				13.39	48207.53	2.37
4	14.19	2.39				11.80	42496.70	2.09
5	12.62	2.65				9.97	35885.88	1.77
6	11.33	2.92				8.41	30283.06	1.49
7	7.62	3.18				4.44	15968.23	0.79
8	7.15	3.45				3.70	13317.41	0.66
9	6.32	3.72				2.60	9370.58	0.46
10	6.12	3.98				2.14	7691.76	0.38
11	6.11	4.25				1.86	6696.94	0.33
12	6.02	4.52				1.50	5414.11	0.27
13	5.83	4.78				1.05	3771.29	0.19
14	5.71	5.05				0.66	2380.46	0.12
15	5.62	5.32				0.30	1097.64	0.05
16	5.58	5.58				0.00	0.00	0.00
Jumlah							369465.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas$ DAS								5.64
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								1.76
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.64

Tabel B3-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (27 Juni 2013)

27 Juni 2013						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.39	1.39	2.00	4.03	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.02	1.68	2.90	4.03	0.00	4.34	15640.42	1.33
2	9.21	1.96	7.30	4.03	3.27	7.25	26082.43	2.22
3	9.44	2.25	2.60	4.03	0.00	7.19	25868.45	2.20
4	9.39	2.54				6.85	24646.46	2.09
5	9.38	2.83				6.55	23568.48	2.00
6	9.37	3.12				6.25	22490.50	1.91
7	9.30	3.41				5.89	21196.51	1.80
8	8.83	3.70				5.13	18462.53	1.57
9	7.01	3.99				3.02	10868.54	0.92
10	6.52	4.28				2.24	8062.56	0.68
11	6.32	4.57				1.75	6300.58	0.54
12	6.11	4.86				1.25	4502.59	0.38
13	6.05	5.15				0.90	3244.61	0.28
14	6.04	5.44				0.60	2166.62	0.18
15	6.03	5.73				0.30	1088.64	0.09
16	6.02	6.02				0.00	0.00	0.00
Jumlah							214189.92	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								3.27
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.03
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.27

Tabel B3-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (30 Juli 2013)

30 Juli 2013						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.51	1.51	1.90	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00
1	9.80	1.70	9.50	3.60	5.90	8.10	29172.82	1.37
2	17.20	1.89	3.50	3.60	0.00	15.31	55130.83	2.60
3	23.31	2.08				21.23	76444.85	3.60
4	17.15	2.26				14.89	53586.86	2.52
5	13.45	2.45				11.00	39584.88	1.86
6	12.15	2.64				9.51	34222.90	1.61
7	10.55	2.83				7.72	27780.91	1.31
8	9.07	3.02				6.05	21770.93	1.02
9	7.87	3.21				4.66	16768.94	0.79
10	6.68	3.40				3.28	11802.96	0.56
11	5.02	3.59				1.43	5144.98	0.24
12	4.98	3.78				1.20	4318.99	0.20
13	4.97	3.97				1.00	3601.01	0.17
14	4.96	4.16				0.80	2883.02	0.14
15	4.95	4.35				0.60	2165.04	0.10
16	4.94	4.54				0.40	1447.06	0.07
17	4.93	4.73				0.20	729.07	0.03
18	4.92	4.92				0.00	0.00	0.00
Jumlah							386556.05	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								5.90
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.60
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.90

Tabel B3-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (19 Agustus 2013)

19 Agustus 2013						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	1.49	1.49	5.10	10.6	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.00	1.67	17.20	10.6	6.59	4.33	15593.62	0.66
2	10.32	1.85	6.80	10.6	0.00	8.47	30499.63	1.29
3	14.23	2.03	2.10	10.6	0.00	12.20	43929.65	1.85
4	15.40	2.21	1.50	10.6	0.00	13.19	47495.66	2.00
5	15.32	2.39				12.93	46561.68	1.96
6	15.28	2.57				12.71	45771.70	1.93
7	15.25	2.75				12.50	45017.71	1.90
8	15.01	2.92				12.09	43507.73	1.83
9	14.24	3.10				11.14	40089.74	1.69
10	11.03	3.28				7.75	27887.76	1.18
11	5.55	3.46				2.09	7513.78	0.32
12	5.54	3.64				1.90	6831.79	0.29
13	5.53	3.82				1.71	6149.81	0.26
14	5.52	4.00				1.52	5467.82	0.23
15	5.51	4.18				1.33	4785.84	0.20
16	5.50	4.36				1.14	4103.86	0.17
17	5.49	4.54				0.95	3421.87	0.14
18	5.48	4.72				0.76	2739.89	0.12
19	5.47	4.90				0.57	2057.90	0.09
20	5.46	5.08				0.38	1375.92	0.04
21	5.45	5.26				0.19	693.94	0.03
22	5.44	5.44				0.00	0.00	0.00
Jumlah							431497.30	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.59
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								10.61
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.59

Tabel B3–5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (28 Januari 2014)

28 Januari 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.50	1.50	2.70	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.92	1.67	12.10	5.40	6.70	15.25	54905.62	2.27
2	25.32	1.84	4.70	5.40	0.00	23.48	84535.63	3.50
3	24.08	2.01	3.40	5.40	0.00	22.07	79461.65	3.29
4	18.27	2.18				16.09	57935.66	2.40
5	13.98	2.35				11.63	41881.68	1.74
6	11.27	2.52				8.75	31515.70	1.31
7	9.31	2.69				6.62	23849.71	0.99
8	7.89	2.85				5.04	18127.73	0.75
9	6.94	3.02				3.92	14097.74	0.58
10	6.12	3.19				2.93	10535.76	0.44
11	5.80	3.36				2.44	8773.78	0.36
12	4.61	3.53				1.08	3879.79	0.16
13	4.60	3.70				0.90	3233.81	0.13
14	4.59	3.87				0.72	2587.82	0.11
15	4.58	4.04				0.54	1941.84	0.08
16	4.57	4.21				0.36	1295.86	0.05
17	4.56	4.38				0.18	649.87	0.03
18	4.55	4.55				0.00	0.00	0.00
Jumlah							439209.65	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								6.70
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.40
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.70

Tabel B3-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (13 Pebruari 2014)

13 Pebruari 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.40	1.40	4.00	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00
1	4.42	1.59	4.40	8.40	0.00	2.83	10193.62	2.17
2	4.48	1.78	9.70	8.40	1.30	2.70	9727.63	2.08
3	4.57	1.97	3.20	8.40	0.00	2.60	9369.65	2.00
4	4.55	2.16				2.39	8615.66	1.84
5	4.54	2.35				2.19	7897.68	1.68
6	4.53	2.54				1.99	7179.70	1.53
7	4.52	2.73				1.79	6461.71	1.38
8	4.51	2.91				1.60	5743.73	1.23
9	4.50	3.10				1.40	5025.74	1.07
10	4.49	3.29				1.20	4307.76	0.92
11	4.48	3.48				1.00	3589.78	0.77
12	4.47	3.67				0.80	2871.79	0.61
13	4.46	3.86				0.60	2153.81	0.46
14	4.45	4.05				0.40	1435.82	0.31
15	4.44	4.24				0.20	717.84	0.15
16	4.43	4.43				0.00	0.00	0.00
Jumlah							85291.92	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas$ DAS								1.30
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.40
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.30

Tabel B3-7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (14 Maret 2014)

14 Maret 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.42	1.42	10.10	4.21	5.89	0.00	0.00	0.00
1	12.24	1.69	3.50	4.21	0.00	10.55	37996.42	1.79
2	16.68	1.95	3.70	4.21	0.00	14.73	53021.23	2.50
3	16.62	2.22				14.40	51846.05	2.45
4	15.21	2.48				12.73	45810.86	2.16
5	13.70	2.75				10.95	39415.68	1.86
6	13.00	3.02				9.98	35936.50	1.70
7	12.08	3.28				8.80	31665.31	1.49
8	10.13	3.55				6.58	23686.13	1.12
9	9.14	3.82				5.32	19162.94	0.90
10	8.35	4.08				4.27	15359.76	0.72
11	7.12	4.35				2.77	9972.58	0.47
12	6.51	4.62				1.89	6817.39	0.32
13	6.26	4.88				1.38	4958.21	0.23
14	6.25	5.15				1.10	3963.02	0.19
15	6.24	5.42				0.82	2967.84	0.14
16	6.23	5.68				0.55	1972.66	0.09
17	6.22	5.95				0.27	977.47	0.05
18	6.21	6.21				0.00	0.00	0.00
Jumlah							385530.05	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								5.89
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.21
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.89

Tabel B3-8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (05 April 2014)

05 April 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.72	1.72	5.90	9.95	0.00	0.00	0.00	0.00
1	4.08	1.99	7.49	9.95	0.00	2.09	7522.42	0.35
2	12.20	2.26	15.91	9.95	5.96	9.94	35788.03	1.67
3	15.12	2.53	2.20	9.95	0.00	12.59	45333.65	2.11
4	15.90	2.80	1.60	9.95	0.00	13.10	47175.26	2.20
5	15.67	3.06				12.61	45380.88	2.12
6	15.52	3.33				12.19	43874.50	2.05
7	15.34	3.60				11.74	42260.11	1.97
8	11.25	3.87				7.38	26569.73	1.24
9	8.35	4.14				4.21	15163.34	0.71
10	8.15	4.41				3.74	13476.96	0.63
11	7.90	4.67				3.23	11610.58	0.54
12	7.75	4.94				2.81	10104.19	0.47
13	7.74	5.21				2.53	9101.81	0.42
14	7.73	5.48				2.25	8099.42	0.38
15	7.72	5.75				1.97	7097.04	0.33
16	7.71	6.02				1.69	6094.66	0.28
17	7.70	6.29				1.41	5092.27	0.24
18	7.69	6.55				1.14	4089.89	0.19
19	7.68	6.82				0.86	3087.50	0.14
20	7.67	7.09				0.58	2085.12	0.10
21	7.66	7.36				0.30	1082.74	0.05
22	7.65	7.63				0.02	80.35	0.00
23	7.64	7.63				0.01	44.35	0.00
24	7.63	7.63				0.00	8.35	0.00
Jumlah							390223.15	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								5.96
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.95
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.96

Tabel B3-9 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (15 April 2014)

15 April 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.53	1.53	10.30	6.29	4.01	0.00	0.00	0.00
1	5.00	1.80	2.60	6.29	0.00	3.20	11522.02	0.80
2	8.33	2.07	2.60	6.29	0.00	6.26	22547.23	1.56
3	11.15	2.33	0.60	6.29	0.00	8.82	31736.45	2.20
4	10.68	2.60				8.08	29081.66	2.02
5	10.26	2.87				7.39	26606.88	1.84
6	10.24	3.14				7.10	25572.10	1.77
7	10.22	3.40				6.82	24537.31	1.70
8	10.01	3.67				6.34	22818.53	1.58
9	9.80	3.94				5.86	21099.74	1.46
10	8.92	4.21				4.71	16968.96	1.18
11	8.16	4.47				3.69	13270.18	0.92
12	7.44	4.74				2.70	9715.39	0.67
13	6.16	5.01				1.15	4144.61	0.29
14	5.83	5.28				0.55	1993.82	0.14
15	5.82	5.54				0.28	995.04	0.07
16	5.81	5.81				0.00	0.00	0.00
Jumlah							262609.92	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								4.01
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.29
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.01

Tabel B3–10 Hidrograf Satuan Terukur DAS Toaya (04 Mei 2014)

04 Mei 2014						Luas DAS (A, km ²) = 65.51		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.63	1.63	2.90	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.84	1.80	9.70	2.90	6.80	11.04	39731.62	1.62
2	27.10	1.97	2.70	2.90	0.00	25.13	90450.43	3.69
3	26.11	2.15	2.10	2.90	0.00	23.96	86269.25	3.52
4	23.18	2.32				20.86	75104.06	3.07
5	14.12	2.49				11.63	41870.88	1.71
6	12.31	2.66				9.65	34737.70	1.42
7	9.60	2.83				6.77	24364.51	1.00
8	7.63	3.00				4.63	16655.33	0.68
9	6.75	3.17				3.58	12870.14	0.53
10	5.98	3.35				2.63	9480.96	0.39
11	5.28	3.52				1.76	6343.78	0.26
12	4.69	3.69				1.00	3602.59	0.15
13	4.41	3.86				0.55	1977.41	0.08
14	4.40	4.03				0.37	1324.22	0.05
15	4.39	4.20				0.19	671.04	0.03
16	4.38	4.38				0.00	17.86	0.00
Jumlah							445471.78	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.80
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								2.90
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.80

Tabel B4-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (28 Januari 2015)

28 Januari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.78	1.78	11.40	3.98	7.42	0.00	0.00	0.00
1	19.02	2.05	3.70	3.98	0.00	16.98	61116.59	2.29
2	28.31	2.31				25.99	93577.18	3.50
3	27.01	2.58				24.43	87951.53	3.29
4	22.57	2.85				19.73	71018.35	2.66
5	18.68	3.11				15.57	56048.94	2.10
6	12.62	3.38				9.24	33271.06	1.25
7	12.11	3.64				8.47	30476.23	1.14
8	9.22	3.91				5.30	19096.70	0.71
9	8.13	4.18				3.95	14230.58	0.53
10	7.32	4.44				2.88	10355.76	0.39
11	7.21	4.71				2.50	9000.94	0.34
12	6.92	4.98				1.94	6998.11	0.26
13	6.82	5.24				1.58	5679.29	0.21
14	6.71	5.51				1.20	4324.46	0.16
15	6.60	5.78				0.82	2969.64	0.11
16	6.04	6.04				0.00	0.00	0.00
Jumlah							506115.36	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.42
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.98
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.42

Tabel B4-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (17 Pebruari 2015)

17 Pebruari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.79	1.79	1.30	3.64	0.00	0.00	0.00	0.00
1	33.05	1.97	1.40	3.64	0.00	31.08	111901.18	4.00
2	29.39	2.14	11.40	3.64	7.76	27.25	98090.35	3.51
3	23.87	2.32	3.40	3.64	0.00	21.55	77583.53	2.78
4	19.12	2.50				16.62	59848.70	2.14
5	15.05	2.67				12.38	44561.88	1.59
6	12.14	2.85				9.29	33451.06	1.20
7	9.94	3.02				6.92	24896.23	0.89
8	9.15	3.20				5.95	21417.41	0.77
9	8.80	3.38				5.42	19522.58	0.70
10	8.25	3.55				4.70	16907.76	0.60
11	7.00	3.73				3.27	11772.94	0.42
12	5.85	3.91				1.94	6998.11	0.25
13	4.77	4.08				0.69	2475.29	0.09
14	4.26	4.26				0.00	0.00	0.00
Jumlah							529427.02	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.76
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.64
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.76

Tabel B4-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (25 Pebruari 2015)

25 Pebruari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.70	1.70	0.50	3.98	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.25	1.88	3.40	3.98	0.00	4.37	15741.58	0.42
2	20.25	2.05	3.60	3.98	0.00	18.20	65503.15	1.75
3	28.27	2.23	3.70	3.98	0.00	26.04	93736.73	2.50
4	26.45	2.41	14.40	3.98	10.42	24.04	86546.30	2.31
5	24.03	2.59				21.44	77195.88	2.06
6	20.12	2.76				17.36	62481.46	1.67
7	18.80	2.94				15.86	57091.03	1.52
8	16.66	3.12				13.54	48748.61	1.30
9	14.91	3.30				11.61	41810.18	1.11
10	13.45	3.47				9.98	35915.76	0.96
11	12.19	3.65				8.54	30741.34	0.82
12	11.15	3.83				7.32	26358.91	0.70
13	10.25	4.01				6.24	22480.49	0.60
14	9.30	4.18				5.12	18422.06	0.49
15	8.20	4.36				3.84	13823.64	0.37
16	7.10	4.54				2.56	9225.22	0.25
17	5.40	4.71				0.69	2466.79	0.07
18	5.27	4.89				0.38	1360.37	0.04
19	5.26	5.07				0.19	685.94	0.02
20	5.25	5.25				0.00	0.00	0.00
Jumlah							710335.44	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								10.42
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.98
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								10.42

Tabel B4-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (17 April 2015)

17 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.73	1.73	2.10	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.80	1.90	8.90	3.50	5.40	10.90	39249.58	2.02
2	18.29	2.06	2.50	3.50	0.00	16.23	58411.15	3.00
3	17.24	2.23				15.01	54028.73	2.78
4	16.04	2.40				13.64	49106.30	2.52
5	12.99	2.57				10.42	37523.88	1.93
6	11.00	2.73				8.27	29757.46	1.53
7	9.65	2.90				6.75	24295.03	1.25
8	8.45	3.07				5.38	19372.61	1.00
9	7.60	3.24				4.36	15710.18	0.81
10	7.10	3.40				3.70	13307.76	0.68
11	6.75	3.57				3.18	11445.34	0.59
12	6.20	3.74				2.46	8862.91	0.46
13	5.10	3.91				1.19	4300.49	0.22
14	4.75	4.07				0.68	2438.06	0.13
15	4.42	4.24				0.18	647.64	0.03
16	4.41	4.41				0.00	0.00	0.00
Jumlah							368457.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								5.40
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.50
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.40

Tabel B4-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (25 April 2015)

25 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.71	1.71	2.20	5.24	0.00	0.00	0.00	0.00
1	9.30	2.09	2.50	5.24	0.00	7.21	25947.58	0.52
2	21.25	2.48	19.00	5.24	13.76	18.77	67573.15	1.36
3	30.25	2.87	3.50	5.24	0.00	27.38	98578.73	1.99
4	41.85	3.25	5.10	5.24	0.00	38.60	138944.30	2.80
5	36.88	3.64				33.24	119657.88	2.42
6	31.23	4.03				27.20	97923.46	1.98
7	26.72	4.42				22.30	80293.03	1.62
8	23.07	4.80				18.27	65758.61	1.33
9	20.12	5.19				14.93	53744.18	1.08
10	17.71	5.58				12.13	43673.76	0.88
11	15.74	5.97				9.77	35187.34	0.71
12	15.10	6.35				8.75	31488.91	0.64
13	14.25	6.74				7.51	27034.49	0.55
14	13.20	7.13				6.07	21860.06	0.44
15	12.30	7.52				4.78	17225.64	0.35
16	11.25	7.90				3.35	12051.22	0.24
17	8.69	8.29				0.40	1440.79	0.03
18	8.68	8.68				0.00	0.00	0.00
Jumlah							938383.13	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								13.76
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.24
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								13.76

Tabel B4-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (30 April 2015)

30 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.79	1.79	2.50	2.96	0.00	0.00	0.00	0.00
1	19.45	2.17	2.10	2.96	0.00	17.28	62210.38	2.26
2	27.01	2.55	10.60	2.96	7.64	24.46	88067.95	3.20
3	26.12	2.92	2.90	2.96	0.00	23.20	83505.53	3.04
4	24.03	3.30				20.73	74623.10	2.71
5	19.52	3.68				15.84	57028.68	2.07
6	16.93	4.06				12.87	46346.26	1.69
7	14.65	4.43				10.22	36779.83	1.34
8	12.80	4.81				7.99	28761.41	1.05
9	10.20	5.19				5.01	18042.98	0.66
10	9.30	5.57				3.73	13444.56	0.49
11	7.70	5.94				1.76	6326.14	0.23
12	7.50	6.32				1.18	4247.71	0.15
13	7.10	6.70				0.40	1449.29	0.05
14	7.07	7.07				0.00	0.00	0.00
Jumlah							520833.82	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								7.64
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								2.96
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.64

Tabel B4–7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (23 Mei 2015)

23 Mei 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	1.69	1.69	2.80	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00
1	20.40	2.08	13.70	3.15	10.55	18.32	65954.38	1.74
2	36.01	2.47	3.00	3.15	0.00	33.54	120755.95	3.18
3	35.01	2.85	2.90	3.15	0.00	32.16	115761.53	3.05
4	29.49	3.24				26.25	94495.10	2.49
5	25.66	3.63				22.03	79312.68	2.09
6	22.31	4.02				18.29	65858.26	1.73
7	19.17	4.40				14.77	53159.83	1.40
8	16.36	4.79				11.57	41649.41	1.10
9	13.90	5.18				8.72	31398.98	0.83
10	11.49	5.57				5.92	21328.56	0.56
11	10.15	5.95				4.20	15110.14	0.40
12	7.93	6.34				1.59	5723.71	0.15
13	7.92	6.73				1.19	4293.29	0.11
14	7.91	7.11				0.80	2862.86	0.08
15	7.90	7.50				0.40	1432.44	0.04
16	7.89	7.89				0.00	0.00	0.00
Jumlah							719097.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								10.55
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.15
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								10.55

Tabel B4–8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (11 Juni 2015)

11 Juni 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.03	2.03	3.20	3.68	0.00	0.00	0.00	0.00
1	15.30	2.43	12.20	3.68	8.52	12.87	46334.38	1.51
2	29.00	2.83	2.00	3.68	0.00	26.17	94223.95	3.07
3	28.27	3.22	3.50	3.68	0.00	25.05	90165.53	2.94
4	25.13	3.62				21.51	77431.10	2.52
5	22.51	4.02				18.49	66568.68	2.17
6	19.97	4.42				15.55	55994.26	1.82
7	17.58	4.81				12.77	45959.83	1.50
8	14.98	5.21				9.77	35169.41	1.15
9	12.90	5.61				7.29	26250.98	0.86
10	10.70	6.01				4.69	16900.56	0.55
11	9.80	6.40				3.40	12230.14	0.40
12	8.25	6.80				1.45	5219.71	0.17
13	8.42	7.20				1.22	4401.29	0.14
14	8.41	7.59				0.82	2934.86	0.10
15	8.40	7.99				0.41	1468.44	0.05
16	8.39	8.39				0.00	0.00	0.00
Jumlah							581253.12	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								8.52
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.68
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.52

Tabel B4–9 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bangga (25 Agustus 2015)

25 Agustus 2015						Luas DAS (A, km ²) = 68.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.13	2.13	6.10	2.20	3.90	0.00	0.00	0.00
1	12.80	2.51	2.00	2.20	0.00	10.29	37046.38	2.64
2	15.76	2.89	1.80	2.20	0.00	12.87	46343.95	3.30
3	14.34	3.26	1.30	2.20	0.00	11.08	39873.53	2.84
4	13.68	3.64				10.04	36139.10	2.57
5	12.31	4.02				8.29	29848.68	2.13
6	11.07	4.40				6.67	24026.26	1.71
7	9.90	4.77				5.13	18455.83	1.31
8	8.87	5.15				3.72	13389.41	0.95
9	7.46	5.53				1.93	6954.98	0.50
10	7.45	5.91				1.54	5560.56	0.40
11	7.44	6.28				1.16	4166.14	0.30
12	7.43	6.66				0.77	2771.71	0.20
13	7.42	7.04				0.38	1377.29	0.10
14	7.41	7.41				0.00	0.00	0.00
Jumlah							265953.82	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								3.90
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								2.20
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.90

Tabel B5-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (31 Januari 2015)

31 Januari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	2.85	2.85	9.80	4.04	5.76	0.00	0.00	0.00
1	15.07	3.14	1.80	4.04	0.00	11.93	42956.46	2.07
2	23.42	3.43				19.99	71980.92	3.47
3	26.75	3.71				23.04	82933.38	4.00
4	25.01	4.00				21.01	75633.84	3.65
5	21.37	4.29				17.08	61494.30	2.97
6	19.25	4.58				14.67	52826.76	2.55
7	17.56	4.86				12.70	45707.22	2.20
8	15.52	5.15				10.37	37327.68	1.80
9	13.28	5.44				7.84	28228.14	1.36
10	11.58	5.73				5.85	21072.60	1.02
11	11.47	6.01				5.46	19641.06	0.95
12	11.40	6.30				5.10	18353.52	0.89
13	11.33	6.59				4.74	17065.98	0.82
14	11.21	6.88				4.33	15598.44	0.75
15	11.13	7.16				3.97	14274.90	0.69
16	11.02	7.45				3.57	12843.36	0.62
17	10.49	7.74				2.75	9899.82	0.48
18	10.42	8.03				2.39	8612.28	0.42
19	10.47	8.32				2.15	7756.74	0.37
20	10.46	8.60				1.86	6685.20	0.32
21	10.45	8.89				1.56	5613.66	0.27
22	10.44	9.18				1.26	4542.12	0.22
23	10.43	9.47				0.96	3470.58	0.17
24	10.42	9.75				0.67	2399.04	0.12
25	10.41	10.04				0.37	1327.50	0.06
26	10.33	10.33				0.00	0.00	0.00
Jumlah							668245.50	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								5.76
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								4.04
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.76

Tabel B5-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (27 Pebruari 2015)

27 Pebruari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.77	2.77	3.40	6.41	0.00	0.00	0.00	0.00
1	42.80	3.07	21.40	6.41	14.99	39.73	143036.46	2.65
2	78.25	3.37	6.20	6.41	0.00	74.88	269584.92	5.00
3	67.24	3.66	1.80	6.41	0.00	63.58	228877.38	4.24
4	58.66	3.96				54.70	196917.84	3.65
5	50.37	4.26				46.11	166002.30	3.08
6	43.22	4.56				38.66	139190.76	2.58
7	37.46	4.85				32.61	117383.22	2.18
8	32.92	5.15				27.77	99967.68	1.85
9	29.51	5.45				24.06	86620.14	1.61
10	26.28	5.75				20.53	73920.60	1.37
11	23.27	6.04				17.23	62013.06	1.15
12	20.59	6.34				14.25	51293.52	0.95
13	16.76	6.64				10.12	36433.98	0.68
14	11.80	6.94				4.86	17506.44	0.32
15	10.25	7.23				3.02	10854.90	0.20
16	10.02	7.53				2.49	8955.36	0.17
17	9.98	7.83				2.15	7739.82	0.14
18	9.97	8.13				1.84	6632.28	0.12
19	9.96	8.43				1.53	5524.74	0.10
20	9.95	8.72				1.23	4417.20	0.08
21	9.94	9.02				0.92	3309.66	0.06
22	9.93	9.32				0.61	2202.12	0.04
23	9.92	9.62				0.30	1094.58	0.02
24	9.91	9.91				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1739478.96	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								14.99
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								6.41
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								14.99

Tabel B5-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (05 April 2015)

05 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	=(4)-(5)	(7)	(8)	(9)
						= (2)-(3)	=(7)*3600	= (7)/d
0	2.76	2.76	3.00	4.49	0.00	0.00	0.00	0.00
1	25.40	3.06	13.20	4.49	8.71	22.34	80421.66	2.57
2	43.38	3.36	4.20	4.49	0.00	40.02	144074.52	4.60
3	42.21	3.66				38.55	138787.38	4.43
4	35.20	3.96				31.24	112476.24	3.59
5	30.16	4.26				25.90	93257.10	2.98
6	26.35	4.55				21.80	78465.96	2.50
7	23.37	4.85				18.52	66662.82	2.13
8	20.98	5.15				15.83	56983.68	1.82
9	18.69	5.45				13.24	47664.54	1.52
10	16.42	5.75				10.67	38417.40	1.23
11	14.46	6.05				8.41	30286.26	0.97
12	12.19	6.35				5.84	21039.12	0.67
13	10.80	6.64				4.16	14959.98	0.48
14	10.65	6.94				3.71	13344.84	0.43
15	10.64	7.24				3.40	12233.70	0.39
16	10.63	7.54				3.09	11122.56	0.35
17	10.62	7.84				2.78	10011.42	0.32
18	10.61	8.14				2.47	8900.28	0.28
19	10.60	8.44				2.16	7789.14	0.25
20	10.59	8.74				1.86	6678.00	0.21
21	10.58	9.03				1.55	5566.86	0.18
22	10.57	9.33				1.24	4455.72	0.14
23	10.56	9.63				0.93	3344.58	0.11
24	10.55	9.93				0.62	2233.44	0.07
25	10.54	10.23				0.31	1122.30	0.04
26	10.53	10.53				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1010299.50	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								8.71
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.49
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.71

Tabel B5-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (25 April 2015)

25 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.75	2.75	4.50	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00
1	7.80	3.06	14.00	5.56	8.44	4.74	17058.06	0.56
2	17.80	3.37	4.50	5.56	0.00	14.43	51943.32	1.71
3	32.70	3.68	2.00	5.56	0.00	29.02	104468.58	3.44
4	33.51	3.99	0.90	5.56	0.00	29.52	106269.84	3.50
5	33.23	4.30				28.93	104147.10	3.43
6	32.42	4.61				27.81	100116.36	3.29
7	30.50	4.92				25.58	92089.62	3.03
8	27.57	5.23				22.34	80426.88	2.65
9	23.41	5.54				17.87	64336.14	2.12
10	19.73	5.85				13.88	49973.40	1.64
11	16.71	6.16				10.55	37986.66	1.25
12	14.45	6.47				7.98	28735.92	0.95
13	12.77	6.78				5.99	21573.18	0.71
14	11.56	7.09				4.47	16102.44	0.53
15	11.55	7.40				4.15	14951.70	0.49
16	11.54	7.71				3.83	13800.96	0.45
17	11.53	8.02				3.51	12650.22	0.42
18	11.52	8.33				3.19	11499.48	0.38
19	11.51	8.64				2.87	10348.74	0.34
20	11.50	8.95				2.56	9198.00	0.30
21	11.49	9.25				2.24	8047.26	0.26
22	11.48	9.56				1.92	6896.52	0.23
23	11.47	9.87				1.60	5745.78	0.19
24	11.46	10.18				1.28	4595.04	0.15
25	11.45	10.49				0.96	3444.30	0.11
26	11.44	10.80				0.64	2293.56	0.08
27	11.43	11.11				0.32	1142.82	0.04
28	11.42	11.42				0.00	0.00	0.00
Jumlah							979841.88	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								8.44
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.56
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.44

Tabel B5-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (18 Mei 2015)

18 Mei 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.95	2.95	5.00	5.46	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.60	3.35	16.80	5.46	11.34	9.25	33294.06	0.82
2	38.75	3.75	4.10	5.46	0.00	35.00	125995.32	3.09
3	47.30	4.15	2.00	5.46	0.00	43.15	155336.58	3.80
4	47.21	4.55				42.66	153573.84	3.76
5	46.22	4.95				41.27	148571.10	3.64
6	45.31	5.35				39.96	143856.36	3.52
7	36.88	5.75				31.13	112069.62	2.74
8	31.22	6.15				25.07	90254.88	2.21
9	26.59	6.55				20.04	72148.14	1.77
10	22.62	6.95				15.67	56417.40	1.38
11	19.43	7.35				12.08	43494.66	1.06
12	16.91	7.75				9.16	32983.92	0.81
13	15.17	8.15				7.02	25281.18	0.62
14	14.80	8.55				6.25	22510.44	0.55
15	14.20	8.95				5.25	18911.70	0.46
16	13.67	9.35				4.32	15564.96	0.38
17	13.43	9.75				3.68	13262.22	0.32
18	13.42	10.15				3.27	11787.48	0.29
19	13.41	10.55				2.86	10312.74	0.25
20	13.40	10.95				2.46	8838.00	0.22
21	13.39	11.34				2.05	7363.26	0.18
22	13.38	11.74				1.64	5888.52	0.14
23	13.37	12.14				1.23	4413.78	0.11
24	13.36	12.54				0.82	2939.04	0.07
25	13.35	12.94				0.41	1464.30	0.04
26	13.34	13.34				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1316533.50	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								11.34
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								5.46
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								11.34

Tabel B5-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Singkoyo (22 Juli 2015)

22 Juli 2015						Luas DAS (A, km ²) = 116.05		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.96	2.96	4.00	6.43	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.25	3.37	5.00	6.43	0.00	6.88	24762.06	0.63
2	21.00	3.78	17.40	6.43	10.97	17.22	61987.32	1.57
3	32.75	4.19	3.80	6.43	0.00	28.56	102812.58	2.60
4	44.12	4.60	0.80	6.43	0.00	39.52	142269.84	3.60
5	45.03	5.01				40.02	144071.10	3.65
6	42.35	5.42				36.93	132948.36	3.37
7	39.54	5.83				33.71	121357.62	3.07
8	37.34	6.24				31.10	111962.88	2.84
9	33.71	6.65				27.06	97420.14	2.47
10	27.90	7.06				20.84	75029.40	1.90
11	23.49	7.47				16.02	57678.66	1.46
12	19.78	7.88				11.90	42847.92	1.09
13	17.24	8.29				8.95	32229.18	0.82
14	15.29	8.70				6.59	23734.44	0.60
15	14.30	9.11				5.19	18695.70	0.47
16	13.71	9.52				4.19	15096.96	0.38
17	13.70	9.93				3.77	13586.22	0.34
18	13.69	10.34				3.35	12075.48	0.31
19	13.68	10.75				2.93	10564.74	0.27
20	13.67	11.16				2.52	9054.00	0.23
21	13.66	11.56				2.10	7543.26	0.19
22	13.65	11.97				1.68	6032.52	0.15
23	13.64	12.38				1.26	4521.78	0.11
24	13.63	12.79				0.84	3011.04	0.08
25	13.62	13.20				0.42	1500.30	0.04
26	13.61	13.61				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1272793.50	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								10.97
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.43
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								10.97

Tabel B6-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (18 Pebruari 2009)

18 Pebruari 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.00	3.00	5.70	6.90	0.00	0.00	0.00	0.00
1	18.72	3.25	13.20	6.90	6.30	15.47	55679.69	2.46
2	34.96	3.51	6.70	6.90	0.00	31.46	113243.59	5.00
3	31.11	3.76	0.60	6.90	0.00	27.35	98459.06	4.34
4	28.48	4.01				24.47	88078.75	3.89
5	23.37	4.27				19.10	68770.44	3.03
6	22.41	4.52				17.89	64402.13	2.84
7	18.39	4.77				13.62	49017.82	2.16
8	15.61	5.03				10.58	38097.50	1.68
9	13.85	5.28				8.57	30849.88	1.36
10	12.31	5.53				6.78	24393.28	1.08
11	10.57	5.79				4.78	17222.27	0.76
12	10.22	6.04				4.18	15044.26	0.66
13	10.11	6.29				3.82	13735.94	0.61
14	10.02	6.55				3.47	12499.63	0.55
15	9.91	6.80				3.11	11191.32	0.49
16	9.79	7.05				2.74	9847.01	0.43
17	9.73	7.31				2.42	8718.70	0.38
18	9.58	7.56				2.02	7266.38	0.32
19	9.47	7.81				1.66	5958.07	0.26
20	9.41	8.07				1.34	4829.76	0.21
21	9.33	8.32				1.01	3629.45	0.16
22	9.22	8.58				0.64	2321.14	0.10
23	9.10	8.83				0.27	976.82	0.04
24	9.08	9.08				0.00	7.49	0.00
Jumlah							744240.38	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								6.30
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								6.90
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.30

Tabel B6-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (25 Pebruari 2009)

25 Pebruari 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.81	2.81	3.00	8.27	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.35	2.97	5.60	8.27	0.00	5.38	19355.69	4.78
2	8.33	3.14	9.40	8.27	1.13	5.19	18695.38	4.62
3	8.31	3.30				5.01	18035.06	4.45
4	8.29	3.46				4.83	17374.75	4.29
5	8.27	3.63				4.64	16714.44	4.13
6	8.25	3.79				4.46	16054.13	3.96
7	8.23	3.95				4.28	15393.82	3.80
8	8.21	4.12				4.09	14733.50	3.64
9	8.19	4.28				3.91	14073.19	3.47
10	8.17	4.44				3.73	13412.88	3.31
11	8.15	4.61				3.54	12752.57	3.15
12	8.13	4.77				3.36	12092.26	2.99
13	8.11	4.93				3.18	11431.94	2.82
14	8.09	5.10				2.99	10771.63	2.66
15	8.07	5.26				2.81	10111.32	2.50
16	8.05	5.42				2.63	9451.01	2.33
17	8.03	5.59				2.44	8790.70	2.17
18	8.01	5.75				2.26	8130.38	2.01
19	6.10	5.91				0.19	666.07	0.16
20	6.08	6.08				0.00	0.00	0.00
Jumlah							248040.72	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								1.13
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								8.27
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.13

Tabel B6-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (06 Maret 2009)

06 Maret 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.82	2.82	5.30	10.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.20	3.08	5.90	10.0	0.00	9.12	32815.37	4.14
2	14.05	3.35	12.20	10.0	2.20	10.70	38527.06	4.86
3	13.95	3.61	3.40	10.0	0.00	10.34	37218.74	4.70
4	13.85	3.87				9.98	35910.43	4.53
5	13.75	4.14				9.61	34602.12	4.37
6	13.65	4.40				9.25	33293.81	4.20
7	12.20	4.67				7.53	27125.50	3.42
8	12.10	4.93				7.17	25817.18	3.26
9	12.00	5.19				6.81	24508.87	3.09
10	11.80	5.46				6.34	22840.56	2.88
11	11.83	5.72				6.11	22000.25	2.78
12	11.31	5.98				5.33	19179.94	2.42
13	11.22	6.25				4.97	17907.62	2.26
14	11.13	6.51				4.62	16635.31	2.10
15	11.01	6.77				4.24	15255.00	1.93
16	10.91	7.04				3.87	13946.69	1.76
17	10.83	7.30				3.53	12710.38	1.60
18	10.72	7.56				3.16	11366.06	1.43
19	10.65	7.83				2.82	10165.75	1.28
20	10.55	8.09				2.46	8857.44	1.12
21	10.41	8.35				2.06	7405.13	0.93
22	10.32	8.62				1.70	6132.82	0.77
23	10.21	8.88				1.33	4788.50	0.60
24	10.14	9.14				1.00	3588.19	0.45
25	10.10	9.41				0.69	2495.88	0.32
26	9.67	9.67				0.00	0.00	0.00
Jumlah							485094.60	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								2.20
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								10.00
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								2.20

Tabel B6-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (22 Maret 2009)

22 Maret 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.86	2.86	3.10	4.94	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.58	3.12	6.80	4.94	1.86	5.46	19639.37	2.93
2	12.14	3.39	0.60	4.94	0.00	8.75	31507.06	4.70
3	12.13	3.65				8.48	30522.74	4.55
4	12.12	3.91				8.21	29538.43	4.40
5	12.11	4.18				7.93	28554.12	4.26
6	12.10	4.44				7.66	27569.81	4.11
7	12.09	4.71				7.38	26585.50	3.96
8	12.08	4.97				7.11	25601.18	3.82
9	12.07	5.23				6.84	24616.87	3.67
10	12.06	5.50				6.56	23632.56	3.52
11	12.05	5.76				6.29	22648.25	3.38
12	12.04	6.02				6.02	21663.94	3.23
13	12.03	6.29				5.74	20679.62	3.08
14	12.02	6.55				5.47	19695.31	2.94
15	10.34	6.81				3.53	12699.00	1.89
16	9.99	7.08				2.91	10490.69	1.56
17	9.81	7.34				2.47	8894.38	1.33
18	9.74	7.60				2.14	7694.06	1.15
19	9.65	7.87				1.78	6421.75	0.96
20	9.51	8.13				1.38	4969.44	0.74
21	9.42	8.39				1.03	3697.13	0.55
22	9.33	8.66				0.67	2424.82	0.36
23	9.21	8.92				0.29	1044.50	0.16
24	9.18	9.18				0.00	0.00	0.00
Jumlah							410790.53	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								1.86
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.94
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.86

Tabel B6–5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (15 April 2009)

15 April 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.85	2.85	1.30	9.01	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.62	3.12	0.70	9.01	0.00	7.50	27012.17	1.47
2	20.30	3.38	8.90	9.01	0.00	16.92	60911.86	3.32
3	21.12	3.64	14.10	9.01	5.09	17.48	62915.54	3.43
4	21.09	3.91	4.50	9.01	0.00	17.18	61859.23	3.37
5	21.06	4.17				16.89	60802.92	3.32
6	21.03	4.43				16.60	59746.61	3.26
7	21.00	4.70				16.30	58690.30	3.20
8	20.97	4.96				16.01	57633.98	3.14
9	20.94	5.22				15.72	56577.67	3.09
10	20.91	5.49				15.42	55521.36	3.03
11	20.88	5.75				15.13	54465.05	2.97
12	20.85	6.01				14.84	53408.74	2.91
13	20.82	6.28				14.54	52352.42	2.86
14	20.79	6.54				14.25	51296.11	2.80
15	20.35	6.80				13.55	48763.80	2.66
16	19.60	7.07				12.53	45115.49	2.46
17	18.85	7.33				11.52	41467.18	2.26
18	18.10	7.59				10.51	37818.86	2.06
19	17.35	7.86				9.49	34170.55	1.86
20	16.60	8.12				8.48	30522.24	1.67
21	15.85	8.39				7.46	26873.93	1.47
22	15.10	8.65				6.45	23225.62	1.27
23	14.35	8.91				5.44	19577.30	1.07
24	13.60	9.18				4.42	15928.99	0.87
25	12.85	9.44				3.41	12280.68	0.67
26	12.10	9.70				2.40	8632.37	0.47
27	11.35	9.97				1.38	4984.06	0.27
28	10.23	10.23				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1122555.0	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								5.09
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.01
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.09

Tabel B6–6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (23 April 2009)

23 April 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.87	2.87	7.90	4.02	3.88	0.00	0.00	0.00
1	9.20	3.14	3.70	4.02	0.00	6.06	21828.17	1.56
2	20.14	3.40	1.80	4.02	0.00	16.74	60263.86	4.32
3	20.11	3.66	0.70	4.02	0.00	16.45	59207.54	4.24
4	20.08	3.93				16.15	58151.23	4.17
5	20.05	4.19				15.86	57094.92	4.09
6	20.02	4.45				15.57	56038.61	4.02
7	19.99	4.72				15.27	54982.30	3.94
8	19.96	4.98				14.98	53925.98	3.86
9	19.93	5.24				14.69	52869.67	3.79
10	19.90	5.51				14.39	51813.36	3.71
11	19.87	5.77				14.10	50757.05	3.64
12	19.84	6.03				13.81	49700.74	3.56
13	19.81	6.30				13.51	48644.42	3.49
14	18.37	6.56				11.81	42512.11	3.05
15	17.35	6.82				10.53	37891.80	2.72
16	15.21	7.09				8.12	29239.49	2.10
17	13.47	7.35				6.12	22027.18	1.58
18	12.61	7.61				5.00	17982.86	1.29
19	11.75	7.88				3.87	13938.55	1.00
20	10.89	8.14				2.75	9894.24	0.71
21	10.03	8.41				1.62	5849.93	0.42
22	8.67	8.67				0.00	0.00	0.00
Jumlah							854614.01	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								3.88
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								4.02
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.88

Tabel B6–7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (27 April 2009)

27 April 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.86	2.86	3.00	8.53	0.00	0.00	0.00	0.00
1	7.12	3.12	3.50	8.53	0.00	4.00	14404.97	0.94
2	15.70	3.38	6.90	8.53	0.00	12.32	44344.66	2.88
3	24.14	3.65	12.80	8.53	4.27	20.49	73780.34	4.80
4	24.12	3.91				20.21	72760.03	4.73
5	24.10	4.17				19.93	71739.72	4.66
6	24.08	4.44				19.64	70719.41	4.60
7	24.06	4.70				19.36	69699.10	4.53
8	24.04	4.96				19.08	68678.78	4.46
9	24.02	5.23				18.79	67658.47	4.40
10	23.43	5.49				17.94	64586.16	4.20
11	22.45	5.75				16.70	60109.85	3.91
12	21.34	6.02				15.32	55165.54	3.59
13	20.14	6.28				13.86	49897.22	3.24
14	19.34	6.54				12.80	46068.91	3.00
15	17.35	6.81				10.54	37956.60	2.47
16	14.56	7.07				7.49	26964.29	1.75
17	11.35	7.33				4.02	14459.98	0.94
18	10.04	7.60				2.44	8795.66	0.57
19	9.91	7.86				2.05	7379.35	0.48
20	9.86	8.12				1.74	6251.04	0.41
21	9.74	8.39				1.35	4870.73	0.32
22	9.63	8.65				0.98	3526.42	0.23
23	9.51	8.91				0.60	2146.10	0.14
24	9.18	9.18				0.00	0.00	0.00
Jumlah							941963.33	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								4.27
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.53
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.27

Tabel B6–8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (30 April 2009)

30 April 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	2.96	2.96	3.60	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.59	3.22	4.40	4.50	0.00	13.37	48136.97	2.57
2	30.14	3.48	9.70	4.50	5.20	26.66	95968.66	5.13
3	30.11	3.75	3.60	4.50	0.00	26.36	94912.34	5.07
4	30.08	4.01				26.07	93856.03	5.02
5	30.05	4.27				25.78	92799.72	4.96
6	30.02	4.54				25.48	91743.41	4.90
7	29.99	4.80				25.19	90687.10	4.85
8	29.96	5.06				24.90	89630.78	4.79
9	29.93	5.33				24.60	88574.47	4.73
10	27.33	5.59				21.74	78266.16	4.18
11	25.31	5.85				19.46	70045.85	3.74
12	22.45	6.12				16.33	58801.54	3.14
13	20.35	6.38				13.97	50293.22	2.69
14	18.31	6.64				11.67	42000.91	2.24
15	15.34	6.91				8.43	30360.60	1.62
16	9.44	7.17				2.27	8172.29	0.44
17	9.33	7.43				1.90	6827.98	0.36
18	9.24	7.70				1.54	5555.66	0.30
19	9.11	7.96				1.15	4139.35	0.22
20	9.23	8.22				1.01	3623.04	0.19
21	8.93	8.49				0.44	1594.73	0.09
22	8.75	8.75				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1145990.8	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								5.20
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								4.50
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.20

Tabel B6–9 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (05 Mei 2009)

05 Mei 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	2.93	2.93	9.90	10.08	0.00	0.00	0.00	0.00
1	4.68	3.20	13.50	10.08	3.42	1.48	5329.37	0.43
2	9.15	3.47	0.70	10.08	0.00	5.68	20433.46	1.66
3	16.25	3.75	0.70	10.08	0.00	12.50	45005.54	3.66
4	17.35	4.02	0.60	10.08	0.00	13.33	47977.63	3.90
5	18.50	4.30				14.20	51129.72	4.15
6	18.48	4.57				13.91	50069.81	4.07
7	18.46	4.85				13.61	49009.90	3.98
8	18.44	5.12				13.32	47949.98	3.89
9	18.42	5.39				13.03	46890.07	3.81
10	18.40	5.67				12.73	45830.16	3.72
11	18.38	5.94				12.44	44770.25	3.64
12	17.90	6.22				11.68	42054.34	3.42
13	17.34	6.49				10.85	39050.42	3.17
14	16.34	6.77				9.57	34462.51	2.80
15	15.56	7.04				8.52	30666.60	2.49
16	15.06	7.32				7.74	27878.69	2.26
17	14.56	7.59				6.97	25090.78	2.04
18	14.06	7.86				6.20	22302.86	1.81
19	13.56	8.14				5.42	19514.95	1.59
20	13.06	8.41				4.65	16727.04	1.36
21	12.56	8.69				3.87	13939.13	1.13
22	12.06	8.96				3.10	11151.22	0.91
23	11.56	9.24				2.32	8363.30	0.68
24	11.06	9.51				1.55	5575.39	0.45
25	10.56	9.79				0.77	2787.48	0.23
26	10.06	10.06				0.00	0.00	0.00
Jumlah							753960.60	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								3.42
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								10.08
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.42

Tabel B6–10 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (11 Mei 2009)

11 Mei 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>T</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	T	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.04	3.04	4.10	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00
1	10.10	3.31	12.10	9.90	2.20	6.79	24438.17	3.08
2	14.38	3.59	8.30	9.90	0.00	10.79	38858.26	4.90
3	13.92	3.86	2.10	9.90	0.00	10.06	36214.34	4.57
4	13.89	4.13				9.76	35118.43	4.43
5	13.86	4.41				9.45	34022.52	4.29
6	13.83	4.68				9.15	32926.61	4.15
7	13.80	4.96				8.84	31830.70	4.01
8	13.77	5.23				8.54	30734.78	3.88
9	13.74	5.51				8.23	29638.87	3.74
10	13.71	5.78				7.93	28542.96	3.60
11	13.68	6.06				7.62	27447.05	3.46
12	13.65	6.33				7.32	26351.14	3.32
13	13.62	6.60				7.02	25255.22	3.19
14	13.59	6.88				6.71	24159.31	3.05
15	13.56	7.15				6.41	23063.40	2.91
16	10.45	7.43				3.02	10879.49	1.37
17	10.20	7.70				2.50	8991.58	1.13
18	9.95	7.98				1.97	7103.66	0.90
19	9.70	8.25				1.45	5215.75	0.66
20	9.45	8.53				0.92	3327.84	0.42
21	9.20	8.80				0.40	1439.93	0.18
22	9.07	9.07				0.00	0.00	0.00
Jumlah							485560.01	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								2.20
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								9.90
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								2.20

Tabel B6-11 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (29 Mei 2009)

29 Mei 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	3.11	3.11	1.30	8.13	0.00	0.00	0.00	0.00
1	12.75	3.28	16.10	8.13	7.97	9.47	34086.17	1.19
2	25.95	3.46	2.70	8.13	0.00	22.49	80978.26	2.82
3	40.35	3.63	8.10	8.13	0.00	36.72	132190.34	4.60
4	40.20	3.80				36.40	131022.43	4.56
5	38.30	3.98				34.32	123554.52	4.30
6	38.21	4.15				34.06	122602.61	4.27
7	37.94	4.33				33.61	121002.70	4.21
8	37.67	4.50				33.17	119402.78	4.16
9	35.30	4.68				30.62	110242.87	3.84
10	35.01	4.85				30.16	108570.96	3.78
11	34.74	5.03				29.71	106971.05	3.73
12	34.47	5.20				29.27	105371.14	3.67
13	34.20	5.37				28.83	103771.22	3.61
14	26.67	5.55				21.12	76035.31	2.65
15	25.35	5.72				19.63	70655.40	2.46
16	21.25	5.90				15.35	55267.49	1.93
17	19.36	6.07				13.29	47835.58	1.67
18	17.35	6.25				11.10	39971.66	1.39
19	15.45	6.42				9.03	32503.75	1.13
20	10.71	6.60				4.11	14811.84	0.52
21	9.81	6.77				3.04	10943.93	0.38
22	8.91	6.94				1.97	7076.02	0.25
23	8.01	7.12				0.89	3208.10	0.11
24	7.29	7.29				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1758076.1	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								7.97
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								8.13
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.97

Tabel B6–12 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (26 Juni 2009)

26 Juni 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.21	3.21	6.30	6.78	0.00	0.00	0.00	0.00
1	14.57	3.36	9.70	6.78	2.92	11.21	40350.17	3.84
2	18.72	3.52	6.10	6.78	0.00	15.20	54734.26	5.20
3	17.87	3.67	4.00	6.78	0.00	14.20	51118.34	4.86
4	16.87	3.82				13.05	46962.43	4.46
5	16.56	3.98				12.58	45290.52	4.30
6	15.98	4.13				11.85	42646.61	4.05
7	15.66	4.29				11.37	40938.70	3.89
8	14.98	4.44				10.54	37934.78	3.61
9	14.65	4.60				10.05	36190.87	3.44
10	13.98	4.75				9.23	33222.96	3.16
11	13.68	4.91				8.77	31587.05	3.00
12	12.88	5.06				7.82	28151.14	2.68
13	12.54	5.21				7.33	26371.22	2.51
14	11.89	5.37				6.52	23475.31	2.23
15	11.45	5.52				5.93	21335.40	2.03
16	10.87	5.68				5.19	18691.49	1.78
17	10.35	5.83				4.52	16263.58	1.55
18	9.99	5.99				4.00	14411.66	1.37
19	9.56	6.14				3.42	12307.75	1.17
20	8.75	6.30				2.45	8835.84	0.84
21	8.34	6.45				1.89	6803.93	0.65
22	7.68	6.60				1.08	3872.02	0.37
23	7.53	6.76				0.77	2776.10	0.26
24	6.91	6.91				0.00	0.00	0.00
Jumlah							644272.13	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								2.92
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								6.78
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								2.92

Tabel B6–13 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (29 Juni 2009)

29 Juni 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w_l</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.01	3.01	2.80	15.85	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.18	3.20	17.70	15.85	1.85	2.98	10722.17	1.61
2	7.34	3.40	5.90	15.85	0.00	3.94	14198.26	2.13
3	9.57	3.59	4.60	15.85	0.00	5.98	21526.34	3.23
4	10.74	3.78	4.50	15.85	0.00	6.96	25038.43	3.75
5	10.43	3.98				6.45	23222.52	3.48
6	10.41	4.17				6.24	22450.61	3.37
7	10.39	4.37				6.02	21678.70	3.25
8	10.37	4.56				5.81	20906.78	3.14
9	10.35	4.76				5.59	20134.87	3.02
10	10.33	4.95				5.38	19362.96	2.90
11	10.31	5.15				5.16	18591.05	2.79
12	10.29	5.34				4.95	17819.14	2.67
13	10.27	5.53				4.74	17047.22	2.56
14	10.25	5.73				4.52	16275.31	2.44
15	10.23	5.92				4.31	15503.40	2.32
16	10.21	6.12				4.09	14731.49	2.21
17	10.19	6.31				3.88	13959.58	2.09
18	10.17	6.51				3.66	13187.66	1.98
19	10.15	6.70				3.45	12415.75	1.86
20	10.13	6.90				3.23	11643.84	1.75
21	10.11	7.09				3.02	10871.93	1.63
22	10.09	7.28				2.81	10100.02	1.51
23	10.07	7.48				2.59	9328.10	1.40
24	10.05	7.67				2.38	8556.19	1.28
25	10.03	7.87				2.16	7784.28	1.17
26	10.01	8.06				1.95	7012.37	1.05
27	9.45	8.26				1.19	4296.46	0.64
28	8.45	8.45				0.00	0.00	0.00
Jumlah							408365.42	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/\text{Luas DAS}$								1.85
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								15.85
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.85

Tabel B6-14 Hidrograf Satuan Terukur DAS Tambun (22 Agustus 2009)

22 Agustus 2009						Luas DAS (A, km ²) = 118.19		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.41	3.41	9.10	7.81	1.29	0.00	0.00	0.00
1	6.34	3.56	3.10	7.81	0.00	2.78	10002.17	2.16
2	9.64	3.72	6.70	7.81	0.00	5.92	21326.26	4.60
3	9.34	3.87	2.10	7.81	0.00	5.47	19690.34	4.25
4	9.19	4.02				5.17	18594.43	4.01
5	9.18	4.18				5.00	18002.52	3.88
6	9.17	4.33				4.84	17410.61	3.75
7	9.16	4.49				4.67	16818.70	3.63
8	9.14	4.64				4.50	16190.78	3.49
9	9.12	4.80				4.32	15562.87	3.36
10	9.10	4.95				4.15	14934.96	3.22
11	9.09	5.11				3.98	14343.05	3.09
12	9.08	5.26				3.82	13751.14	2.96
13	9.07	5.41				3.66	13159.22	2.84
14	9.06	5.57				3.49	12567.31	2.71
15	9.05	5.72				3.33	11975.40	2.58
16	9.04	5.88				3.16	11383.49	2.45
17	9.04	6.03				3.01	10827.58	2.33
18	9.03	6.19				2.84	10235.66	2.21
19	9.02	6.34				2.68	9643.75	2.08
20	8.01	6.50				1.51	5451.84	1.18
21	7.25	6.65				0.60	2159.93	0.47
22	6.80	6.80				0.00	0.00	0.00
Jumlah							284032.01	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								1.29
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								7.81
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.29

Tabel B7-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (18 Pebruari 2015)

18 Pebruari 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.41	3.41	16.00	9.28	6.72	0.00	0.00	0.00
1	25.01	3.63	3.60	9.28	0.00	21.38	76967.82	3.18
2	38.11	3.85	3.60	9.28	0.00	34.26	123335.64	5.10
3	37.62	4.07	6.20	9.28	0.00	33.55	120779.46	4.99
4	35.11	4.29				30.82	110951.28	4.59
5	25.79	4.51				21.28	76607.10	3.17
6	15.83	4.73				11.10	39958.92	1.65
7	14.52	4.95				9.57	34450.74	1.42
8	13.37	5.17				8.20	29518.56	1.22
9	13.32	5.39				7.93	28546.38	1.18
10	13.18	5.61				7.57	27250.20	1.13
11	13.01	5.83				7.18	25846.02	1.07
12	12.82	6.05				6.77	24369.84	1.01
13	12.58	6.27				6.31	22713.66	0.94
14	12.41	6.49				5.92	21309.48	0.88
15	12.18	6.71				5.47	19689.30	0.81
16	12.04	6.93				5.11	18393.12	0.76
17	11.83	7.15				4.68	16844.94	0.70
18	11.61	7.37				4.24	15260.76	0.63
19	11.38	7.59				3.79	13640.58	0.56
20	11.03	7.81				3.22	11588.40	0.48
21	10.02	8.03				1.99	7160.22	0.30
22	8.25	8.25				0.00	0.00	0.00
Jumlah							865182.42	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.72
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								9.28
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.72

Tabel B7-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (11 Maret 2015)

11 Maret 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) =(2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) =(7)/d
0	3.25	3.25	3.00	16.52	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.34	3.38	18.30	16.52	1.78	4.96	17855.82	2.79
2	11.93	3.51	7.40	16.52	0.00	8.42	30311.64	4.73
3	10.79	3.64	4.80	16.52	0.00	7.15	25739.46	4.02
4	9.45	3.77				5.68	20447.28	3.19
5	9.25	3.90				5.35	19259.10	3.01
6	8.01	4.03				3.98	14326.92	2.24
7	7.81	4.16				3.65	13138.74	2.05
8	7.52	4.29				3.23	11626.56	1.82
9	7.38	4.42				2.96	10654.38	1.66
10	7.33	4.55				2.78	10006.20	1.56
11	7.22	4.68				2.54	9142.02	1.43
12	7.12	4.81				2.31	8313.84	1.30
13	7.13	4.94				2.19	7881.66	1.23
14	6.89	5.07				1.82	6549.48	1.02
15	6.86	5.20				1.66	5973.30	0.93
16	6.71	5.33				1.38	4965.12	0.78
17	6.65	5.46				1.19	4280.94	0.67
18	6.52	5.59				0.93	3344.76	0.52
19	6.43	5.72				0.71	2552.58	0.40
20	6.35	5.85				0.50	1796.40	0.28
21	6.21	5.98				0.23	824.22	0.13
22	6.11	6.11				0.00	0.00	0.00
Jumlah							228990.42	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								1.78
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								16.52
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								1.78

Tabel B7-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (12 April 2015)

12 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.29	3.29	5.00	5.07	0.00	0.00	0.00	0.00
1	21.69	3.42	11.30	5.07	6.23	18.27	65771.82	2.93
2	38.39	3.55	4.80	5.07	0.00	34.84	125423.64	5.60
3	38.12	3.68	4.60	5.07	0.00	34.44	123983.46	5.53
4	36.41	3.81				32.60	117359.28	5.24
5	33.75	3.94				29.81	107315.10	4.79
6	24.31	4.07				20.24	72862.92	3.25
7	15.33	4.20				11.13	40066.74	1.79
8	10.26	4.33				5.93	21346.56	0.95
9	8.42	4.46				3.96	14254.38	0.64
10	8.35	4.59				3.76	13534.20	0.60
11	8.23	4.72				3.51	12634.02	0.56
12	8.16	4.85				3.31	11913.84	0.53
13	8.01	4.98				3.03	10905.66	0.49
14	7.91	5.11				2.80	10077.48	0.45
15	7.84	5.24				2.60	9357.30	0.42
16	7.75	5.37				2.38	8565.12	0.38
17	7.63	5.50				2.13	7664.94	0.34
18	7.51	5.63				1.88	6764.76	0.30
19	7.45	5.76				1.69	6080.58	0.27
20	7.36	5.89				1.47	5288.40	0.24
21	7.22	6.02				1.20	4316.22	0.19
22	7.11	6.15				0.96	3452.04	0.15
23	7.03	6.28				0.75	2695.86	0.12
24	6.41	6.41				0.00	0.00	0.00
Jumlah							801634.32	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.23
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								5.07
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.23

Tabel B7-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (19 April 2015)

19 April 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.27	3.27	9.90	3.32	6.58	0.00	0.00	0.00
1	15.90	3.50	1.60	3.32	0.00	12.40	44639.82	1.88
2	27.36	3.73	1.60	3.32	0.00	23.63	85067.64	3.59
3	29.60	3.96	1.50	3.32	0.00	25.64	92303.46	3.90
4	30.21	4.19	1.10	3.32	0.00	26.02	93671.28	3.96
5	25.42	4.42				21.00	75599.10	3.19
6	20.11	4.65				15.46	55654.92	2.35
7	17.23	4.88				12.35	44458.74	1.88
8	15.14	5.11				10.03	36106.56	1.52
9	14.36	5.34				9.02	32470.38	1.37
10	13.65	5.57				8.08	29086.20	1.23
11	13.44	5.80				7.64	27502.02	1.16
12	13.24	6.03				7.21	25953.84	1.10
13	13.23	6.26				6.97	25089.66	1.06
14	12.85	6.49				6.36	22893.48	0.97
15	12.63	6.72				5.91	21273.30	0.90
16	12.41	6.95				5.46	19653.12	0.83
17	12.22	7.18				5.04	18140.94	0.77
18	12.09	7.41				4.68	16844.76	0.71
19	11.81	7.64				4.17	15008.58	0.63
20	11.62	7.87				3.75	13496.40	0.57
21	11.44	8.10				3.34	12020.22	0.51
22	11.21	8.33				2.88	10364.04	0.44
23	11.09	8.56				2.53	9103.86	0.38
24	10.91	8.79				2.12	7627.68	0.32
25	10.72	9.02				1.70	6115.50	0.26
26	10.52	9.25				1.27	4567.32	0.19
27	10.11	9.48				0.63	2263.14	0.10
28	9.71	9.71				0.00	0.00	0.00
Jumlah							846975.96	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								6.58
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.32
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.58

Tabel B7-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (10 Mei 2015)

10 Mei 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.25	3.25	2.10	8.92	0.00	0.00	0.00	0.00
1	33.11	3.49	2.10	8.92	0.00	29.62	106631.82	3.62
2	34.69	3.73	17.10	8.92	8.18	30.96	111455.64	3.78
3	33.89	3.97	5.60	8.92	0.00	29.92	107711.46	3.66
4	33.67	4.21				29.46	106055.28	3.60
5	33.28	4.45				28.83	103787.10	3.52
6	33.25	4.69				28.56	102814.92	3.49
7	33.14	4.93				28.21	101554.74	3.45
8	25.61	5.17				20.44	73582.56	2.50
9	20.52	5.41				15.11	54394.38	1.85
10	15.33	5.65				9.68	34846.20	1.18
11	13.42	5.89				7.53	27106.02	0.92
12	12.54	6.13				6.41	23073.84	0.78
13	12.31	6.37				5.94	21381.66	0.73
14	11.53	6.61				4.92	17709.48	0.60
15	11.12	6.85				4.27	15369.30	0.52
16	10.58	7.09				3.49	12561.12	0.43
17	10.01	7.33				2.68	9644.94	0.33
18	9.71	7.57				2.14	7700.76	0.26
19	9.52	7.81				1.71	6152.58	0.21
20	9.35	8.05				1.30	4676.40	0.16
21	9.67	8.29				1.38	4964.22	0.17
22	8.53	8.53				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1053174.4	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								8.18
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.92
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.18

Tabel B7-6 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (12 Juni 2015)

12 Juni 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.27	3.27	6.30	8.06	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.24	3.53	16.00	8.06	7.94	4.71	16955.82	0.59
2	18.61	3.79	7.60	8.06	0.00	14.82	53351.64	1.87
3	39.39	4.05	3.20	8.06	0.00	35.34	127223.46	4.45
4	40.79	4.31	1.20	8.06	0.00	36.48	131327.28	4.60
5	38.51	4.57				33.94	122183.10	4.28
6	30.12	4.83				25.29	91042.92	3.19
7	25.59	5.09				20.50	73798.74	2.58
8	23.21	5.35				17.86	64294.56	2.25
9	20.13	5.61				14.52	52270.38	1.83
10	20.01	5.87				14.14	50902.20	1.78
11	17.22	6.13				11.09	39922.02	1.40
12	15.32	6.39				8.93	32145.84	1.13
13	14.54	6.65				7.89	28401.66	0.99
14	13.45	6.91				6.54	23541.48	0.82
15	12.51	7.17				5.34	19221.30	0.67
16	11.92	7.43				4.49	16161.12	0.57
17	11.75	7.69				4.06	14612.94	0.51
18	11.65	7.95				3.70	13316.76	0.47
19	11.51	8.21				3.30	11876.58	0.42
20	11.32	8.47				2.85	10256.40	0.36
21	11.24	8.73				2.51	9032.22	0.32
22	10.92	8.99				1.93	6944.04	0.24
23	10.93	9.25				1.68	6043.86	0.21
24	10.71	9.51				1.20	4315.68	0.15
25	10.53	9.77				0.76	2731.50	0.10
26	10.03	10.03				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1021873.5	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								7.94
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.06
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								7.94

Tabel B7-7 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (28 Juli 2015)

28 Juli 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.29	3.29	3.40	7.06	0.00	0.00	0.00	0.00
1	22.52	3.53	16.50	7.06	9.44	18.99	68363.82	2.01
2	60.57	3.77	5.20	7.06	0.00	56.80	204479.64	6.02
3	48.61	4.01	4.00	7.06	0.00	44.60	160559.46	4.73
4	42.32	4.25				38.07	137051.28	4.03
5	41.48	4.49				36.99	133163.10	3.92
6	35.34	4.73				30.61	110194.92	3.24
7	29.96	4.97				24.99	89962.74	2.65
8	24.32	5.21				19.11	68794.56	2.02
9	22.24	5.45				16.79	60442.38	1.78
10	20.16	5.69				14.47	52090.20	1.53
11	13.41	5.93				7.48	26926.02	0.79
12	12.13	6.17				5.96	21453.84	0.63
13	10.41	6.41				4.00	14397.66	0.42
14	10.15	6.65				3.50	12597.48	0.37
15	9.91	6.89				3.02	10869.30	0.32
16	9.82	7.13				2.69	9681.12	0.28
17	9.74	7.37				2.37	8528.94	0.25
18	9.61	7.61				2.00	7196.76	0.21
19	9.55	7.85				1.70	6116.58	0.18
20	9.47	8.09				1.38	4964.40	0.15
21	9.36	8.33				1.03	3704.22	0.11
22	9.27	8.57				0.70	2516.04	0.07
23	9.12	8.81				0.31	1111.86	0.03
24	9.05	9.05				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1215166.3	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								9.44
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								7.06
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								9.44

Tabel B7–8 Hidrograf Satuan Terukur DAS Malino (24 Agustus 2015)

24 Agustus 2015						Luas DAS (A, km ²) = 128.75		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.21	3.21	2.60	3.63	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.15	3.49	6.70	3.63	3.07	2.66	9575.82	0.87
2	13.59	3.77	2.60	3.63	0.00	9.82	35351.64	3.20
3	22.74	4.05	1.60	3.63	0.00	18.69	67283.46	6.09
4	13.21	4.33				8.88	31967.28	2.89
5	12.12	4.61				7.51	27035.10	2.45
6	12.10	4.89				7.21	25954.92	2.35
7	11.82	5.17				6.65	23938.74	2.17
8	11.61	5.45				6.16	22174.56	2.01
9	11.34	5.73				5.61	20194.38	1.83
10	11.45	6.01				5.44	19582.20	1.77
11	10.91	6.29				4.62	16630.02	1.50
12	10.83	6.57				4.26	15333.84	1.39
13	10.75	6.85				3.90	14037.66	1.27
14	10.66	7.13				3.53	12705.48	1.15
15	10.52	7.41				3.11	11193.30	1.01
16	10.44	7.69				2.75	9897.12	0.90
17	10.34	7.97				2.37	8528.94	0.77
18	10.21	8.25				1.96	7052.76	0.64
19	10.12	8.53				1.59	5720.58	0.52
20	10.05	8.81				1.24	4460.40	0.40
21	9.99	9.09				0.90	3236.22	0.29
22	9.98	9.37				0.61	2192.04	0.20
23	9.97	9.65				0.32	1147.86	0.10
24	9.93	9.93				0.00	0.00	0.00
Jumlah							395194.32	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								3.07
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								3.63
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								3.07

Tabel B8-1 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bunta (30 Januari 2015)

						Luas DAS (A, km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w₁</i>	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.50	3.50	12.40	6.40	6.00	0.00	0.00	0.00
1	20.24	3.74	5.70	6.40	0.00	16.50	59384.70	2.75
2	32.41	3.99				28.42	102317.40	4.74
3	35.41	4.23				31.18	112238.10	5.20
4	30.39	4.48				25.91	93286.80	4.32
5	25.17	4.72				20.45	73615.50	3.41
6	23.32	4.97				18.35	66076.20	3.06
7	21.23	5.21				16.02	57672.90	2.67
8	20.38	5.45				14.93	53733.60	2.49
9	18.04	5.70				12.34	44430.30	2.06
10	15.92	5.94				9.98	35919.00	1.66
11	14.49	6.19				8.30	29891.70	1.38
12	14.00	6.43				7.57	27248.40	1.26
13	13.06	6.68				6.38	22985.10	1.06
14	12.16	6.92				5.24	18865.80	0.87
15	11.50	7.16				4.34	15610.50	0.72
16	10.83	7.41				3.42	12319.20	0.57
17	10.16	7.65				2.51	9027.90	0.42
18	10.00	7.90				2.10	7572.60	0.35
19	9.98	8.14				1.84	6621.30	0.31
20	9.94	8.39				1.56	5598.00	0.26
21	9.93	8.63				1.30	4682.70	0.22
22	9.90	8.87				1.03	3695.40	0.17
23	9.89	9.12				0.77	2780.10	0.13
24	9.88	9.36				0.52	1864.80	0.09
25	9.87	9.61				0.26	949.50	0.04
26	9.85	9.85				0.00	0.00	0.00
Jumlah							868387.50	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								6.00
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								6.40
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								6.00

Tabel B8-2 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bunta (19 Pebruari 2015)

						Luas DAS (A, km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.63	3.63	4.60	6.79	0.00	0.00	0.00	0.00
1	27.55	3.78	15.30	6.79	8.51	23.77	85556.70	2.79
2	51.61	3.94	6.50	6.79	0.00	47.67	171617.40	5.60
3	44.23	4.09				40.14	144494.10	4.71
4	37.53	4.25				33.28	119818.80	3.91
5	32.45	4.40				28.05	100975.50	3.29
6	28.47	4.56				23.91	86092.20	2.81
7	25.25	4.71				20.54	73944.90	2.41
8	22.62	4.86				17.76	63921.60	2.09
9	20.42	5.02				15.40	55446.30	1.81
10	18.57	5.17				13.40	48231.00	1.57
11	16.99	5.33				11.66	41987.70	1.37
12	15.64	5.48				10.16	36572.40	1.19
13	14.46	5.64				8.82	31769.10	1.04
14	13.84	5.79				8.05	28981.80	0.95
15	13.45	5.94				7.51	27022.50	0.88
16	12.55	6.10				6.45	23227.20	0.76
17	11.77	6.25				5.52	19863.90	0.65
18	11.08	6.41				4.67	16824.60	0.55
19	10.47	6.56				3.91	14073.30	0.46
20	9.93	6.72				3.22	11574.00	0.38
21	9.45	6.87				2.58	9290.70	0.30
22	9.00	7.02				1.98	7115.40	0.23
23	8.46	7.18				1.28	4616.10	0.15
24	8.42	7.33				1.09	3916.80	0.13
25	8.41	7.49				0.92	3325.50	0.11
26	8.00	7.64				0.36	1294.20	0.04
27	7.99	7.79				0.20	702.90	0.02
28	7.95	7.95				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1232256.60	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								8.51
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								6.79
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								8.51

Tabel B8-3 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bunta (11 April 2015)

						Luas DAS (A, km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.62	3.62	20.50	8.20	12.30	0.00	0.00	0.00
1	29.35	3.77	2.70	8.20	0.00	25.58	92072.70	2.08
2	47.80	3.93	6.20	8.20	0.00	43.87	157937.40	3.57
3	70.45	4.08	3.00	8.20	0.00	66.37	238922.10	5.39
4	69.77	4.24				65.53	235918.80	5.33
5	65.60	4.39				61.21	220351.50	4.97
6	55.36	4.55				50.81	182932.20	4.13
7	44.20	4.70				39.50	142200.90	3.21
8	35.69	4.85				30.84	111009.60	2.51
9	29.12	5.01				24.11	86802.30	1.96
10	24.01	5.16				18.85	67851.00	1.53
11	19.99	5.32				14.67	52823.70	1.19
12	16.81	5.47				11.34	40820.40	0.92
13	14.29	5.63				8.66	31193.10	0.70
14	12.28	5.78				6.50	23401.80	0.53
15	10.68	5.93				4.75	17086.50	0.39
16	9.39	6.09				3.30	11887.20	0.27
17	9.21	6.24				2.97	10683.90	0.24
18	9.12	6.40				2.72	9804.60	0.22
19	9.00	6.55				2.45	8817.30	0.20
20	8.91	6.71				2.21	7938.00	0.18
21	8.82	6.86				1.96	7058.70	0.16
22	8.74	7.01				1.73	6215.40	0.14
23	8.66	7.17				1.49	5372.10	0.12
24	8.51	7.32				1.19	4276.80	0.10
25	8.42	7.48				0.94	3397.50	0.08
26	8.34	7.63				0.71	2554.20	0.06
27	8.20	7.78				0.42	1494.90	0.03
28	7.94	7.94				0.00	0.00	0.00
Jumlah							1780824.6	
Kedalaman limpasan, <i>d</i> (mm) = <i>VLL</i> /Luas DAS								12.30
Indeks Phi (<i>w</i>) = (<i>R</i> - <i>d</i>) > 0 atau dihitung dengan cara coba ulang								8.20
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								12.30

Tabel B8-4 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bunta (26 Mei 2015)

						Luas DAS (A, km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.65	3.65	6.70	8.78	0.00	0.00	0.00	0.00
1	5.85	3.81	14.60	8.78	5.82	2.04	7328.70	0.35
2	12.15	3.98	5.30	8.78	0.00	8.17	29417.40	1.40
3	19.56	4.14	5.50	8.78	0.00	15.42	55502.10	2.65
4	25.45	4.31	1.60	8.78	0.00	21.14	76114.80	3.63
5	26.52	4.47				22.05	79375.50	3.79
6	26.10	4.64				21.46	77272.20	3.69
7	25.74	4.80				20.94	75384.90	3.60
8	25.41	4.96				20.45	73605.60	3.51
9	20.33	5.13				15.20	54726.30	2.61
10	18.71	5.29				13.42	48303.00	2.30
11	16.44	5.46				10.98	39539.70	1.89
12	14.23	5.62				8.61	30992.40	1.48
13	13.43	5.79				7.64	27521.10	1.31
14	12.42	5.95				6.47	23293.80	1.11
15	11.35	6.11				5.24	18850.50	0.90
16	10.41	6.28				4.13	14875.20	0.71
17	10.32	6.44				3.88	13959.90	0.67
18	10.24	6.61				3.63	13080.60	0.62
19	10.12	6.77				3.35	12057.30	0.58
20	10.81	6.94				3.88	13950.00	0.67
21	9.91	7.10				2.81	10118.70	0.48
22	9.82	7.26				2.56	9203.40	0.44
23	9.74	7.43				2.31	8324.10	0.40
24	9.67	7.59				2.08	7480.80	0.36
25	9.52	7.76				1.76	6349.50	0.30
26	9.45	7.92				1.53	5506.20	0.26
27	9.32	8.08				1.24	4446.90	0.21
28	9.26	8.25				1.01	3639.60	0.17
29	9.12	8.41				0.71	2544.30	0.12
30	8.58	8.58				0.00	0.00	0.00
Jumlah							842764.50	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								5.82
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.78
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								5.82

Tabel B8-5 Hidrograf Satuan Terukur DAS Bunta (13 Agustus 2015)

						Luas DAS (A, km ²) = 144.73		
Waktu (jam)	Debit (m ³ /dt)	Aliran Dasar (m ³ /dt)	Hujan (mm)	Indeks Phi (mm)	Hujan Efektif (mm)	Hidrograf Limpasan Langsung (m ³ /dt)	Volume Limpasan Langsung (m ³)	Ordinat Hidrograf Satuan
<i>T</i>	<i>Q</i>	<i>Q_b</i>	<i>R</i>	<i>w</i> ₁	<i>R_{eff}</i>	<i>HLL</i>	<i>VLL</i>	<i>OHS</i>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)-(5)	(7) = (2)-(3)	(8) =(7)*3600	(9) = (7)/d
0	3.75	3.75	6.70	8.74	0.00	0.00	0.00	0.00
1	7.95	4.01	13.10	8.74	4.36	3.94	14186.70	0.90
2	19.62	4.27	6.80	8.74	0.00	15.35	55247.40	3.52
3	20.25	4.54	3.50	8.74	0.00	15.71	56564.10	3.60
4	21.62	4.80				16.82	60544.80	3.85
5	22.91	5.07				17.84	64237.50	4.09
6	22.45	5.33				17.12	61630.20	3.92
7	21.21	5.59				15.62	56214.90	3.58
8	20.23	5.19				15.04	54158.76	3.45
9	13.01	6.12				6.89	24792.30	1.58
10	11.92	6.39				5.53	19917.00	1.27
11	11.91	6.65				5.26	18929.70	1.21
12	11.90	6.92				4.98	17942.40	1.14
13	11.81	7.18				4.63	16667.10	1.06
14	11.74	7.44				4.30	15463.80	0.98
15	11.63	7.71				3.92	14116.50	0.90
16	11.51	7.97				3.54	12733.20	0.81
17	11.43	8.24				3.19	11493.90	0.73
18	11.36	8.50				2.86	10290.60	0.66
19	11.25	8.77				2.48	8943.30	0.57
20	11.29	9.03				2.26	8136.00	0.52
21	11.28	9.29				1.99	7148.70	0.46
22	11.27	9.56				1.71	6161.40	0.39
23	11.26	9.82				1.44	5174.10	0.33
24	11.25	10.09				1.16	4186.80	0.27
25	11.24	10.35				0.89	3199.50	0.20
26	11.23	10.62				0.61	2212.20	0.14
27	11.22	10.88				0.34	1224.90	0.08
28	11.14	11.14				0.00	0.00	0.00
Jumlah							631517.76	
Kedalaman limpasan, d (mm) = $VLL/Luas\ DAS$								4.36
Indeks Phi (w) = $(R - d) > 0$ atau dihitung dengan cara coba ulang								8.74
Jumlah total hujan efektif (harus sama dengan kedalaman limpasan)								4.36

Halaman ini sengaja dikosongkan

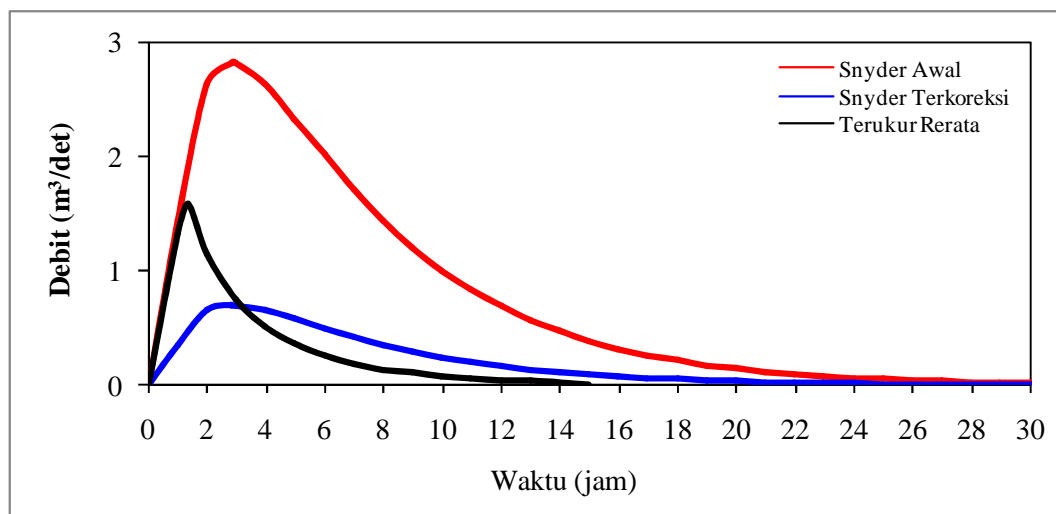
LAMPIRAN C

HIDROGRAF SATUAN SINTETIK



Tabel C1-1 HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo

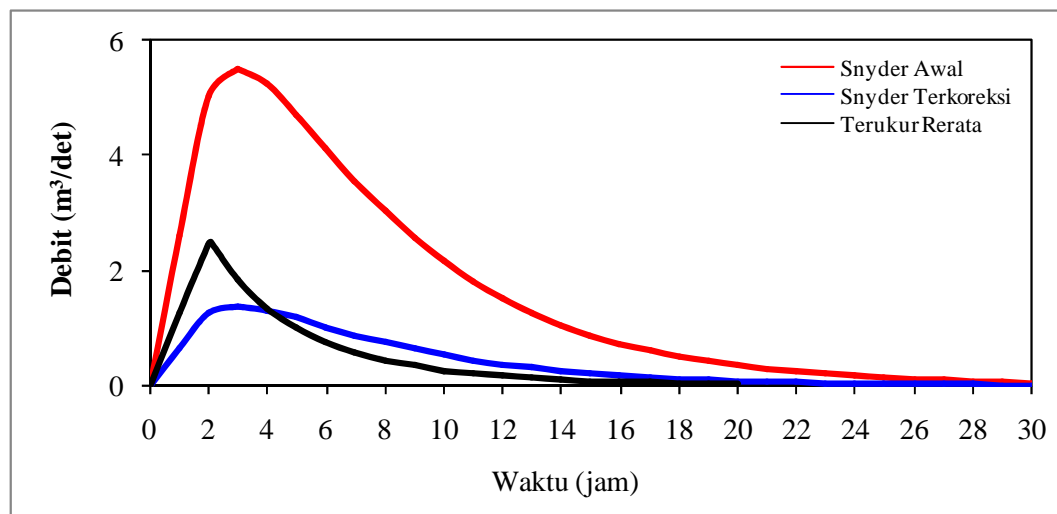
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2)/X}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³ /det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.43	0.65	2.22	7977.07	0.54	1934.50
3	2	0.86	0.99	3.37	12132.05	0.82	2942.11
4	2.33	1.00	1.00	3.42	12296.45	0.83	2981.98
5	3	1.29	0.96	3.29	11858.91	0.80	2875.87
6	4	1.72	0.84	2.88	10379.12	0.70	2517.01
7	5	2.14	0.71	2.41	8691.17	0.59	2107.67
8	6	2.57	0.58	1.98	7118.64	0.48	1726.32
9	7	3.00	0.47	1.60	5757.46	0.39	1396.23
10	8	3.43	0.38	1.28	4619.94	0.31	1120.37
11	9	3.86	0.30	1.02	3687.71	0.25	894.30
12	10	4.29	0.24	0.81	2932.76	0.20	711.22
13	11	4.72	0.19	0.65	2326.12	0.16	564.10
14	12	5.15	0.15	0.51	1841.27	0.12	446.52
15	13	5.57	0.12	0.40	1455.22	0.10	352.90
16	14	6.00	0.09	0.32	1148.72	0.08	278.57
17	15	6.43	0.07	0.25	905.90	0.06	219.69
18	16	6.86	0.06	0.20	713.84	0.05	173.11
19	17	7.29	0.05	0.16	562.13	0.04	136.32
20	18	7.72	0.04	0.12	442.43	0.03	107.29
21	19	8.15	0.03	0.10	348.05	0.02	84.41
22	20	8.58	0.02	0.08	273.70	0.02	66.38
23	21	9.00	0.02	0.06	215.17	0.01	52.18
Jumlah Volume (m ³)				98471.27		23880	
Luas DAS (m ²)				23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				4.12		1	



Gambar C1-1 HSS Snyder-Alexejev DAS Bahomoleo

Tabel C1-2 HSS Snyder-Alexejev DAS Pinamula

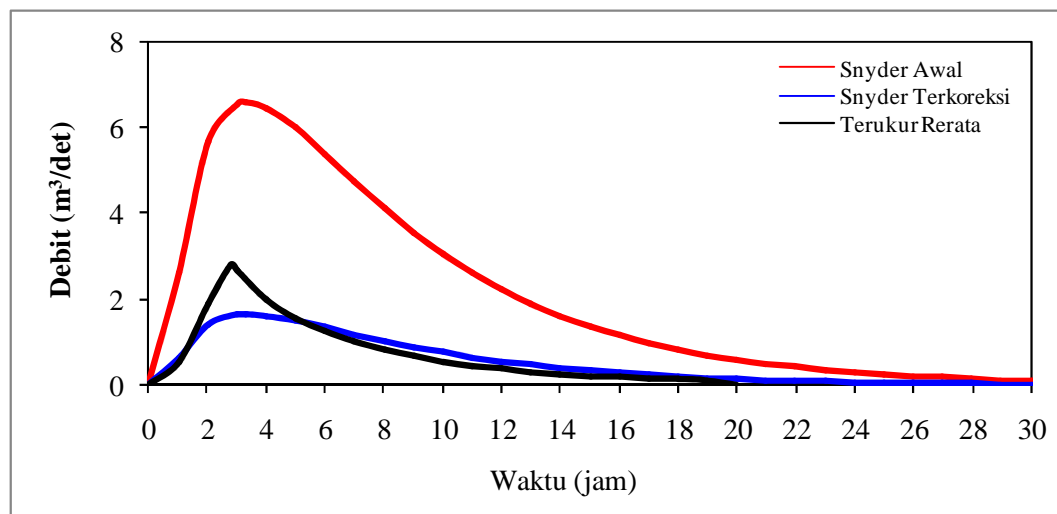
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2)/X}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³ /det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.33	0.47	2.60	9345.06	0.65	2331.90
3	2	0.67	0.91	5.02	18070.23	1.25	4509.11
4	2.99	1.00	1.00	5.51	19830.94	1.37	4948.46
5	3	1.00	1.00	5.51	19830.78	1.37	4948.42
6	4	1.34	0.95	5.25	18889.23	1.31	4713.48
7	5	1.67	0.86	4.72	17001.54	1.18	4242.44
8	6	2.01	0.75	4.13	14875.17	1.03	3711.84
9	7	2.34	0.65	3.56	12805.80	0.89	3195.46
10	8	2.68	0.55	3.03	10913.37	0.76	2723.24
11	9	3.01	0.47	2.57	9238.09	0.64	2305.20
12	10	3.35	0.39	2.16	7783.15	0.54	1942.15
13	11	3.68	0.33	1.82	6534.88	0.45	1630.67
14	12	4.02	0.28	1.52	5472.70	0.38	1365.62
15	13	4.35	0.23	1.27	4574.10	0.32	1141.39
16	14	4.68	0.19	1.06	3817.10	0.26	952.49
17	15	5.02	0.16	0.88	3181.42	0.22	793.87
18	16	5.35	0.13	0.74	2648.92	0.18	660.99
19	17	5.69	0.11	0.61	2203.72	0.15	549.90
20	18	6.02	0.09	0.51	1832.06	0.13	457.16
21	19	6.36	0.08	0.42	1522.20	0.11	379.84
22	20	6.69	0.06	0.35	1264.12	0.09	315.44
23	21	7.03	0.05	0.29	1049.34	0.07	261.85
Jumlah Volume (m ³)				197769.83		49350	
Luas DAS (m ²)				49350000.00		49350000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				4.01		1	



Gambar C1-2 HSS Snyder-Alexejev DAS Pinamula

Tabel C1-3 HSS Snyder-Alexejev DAS Toaya

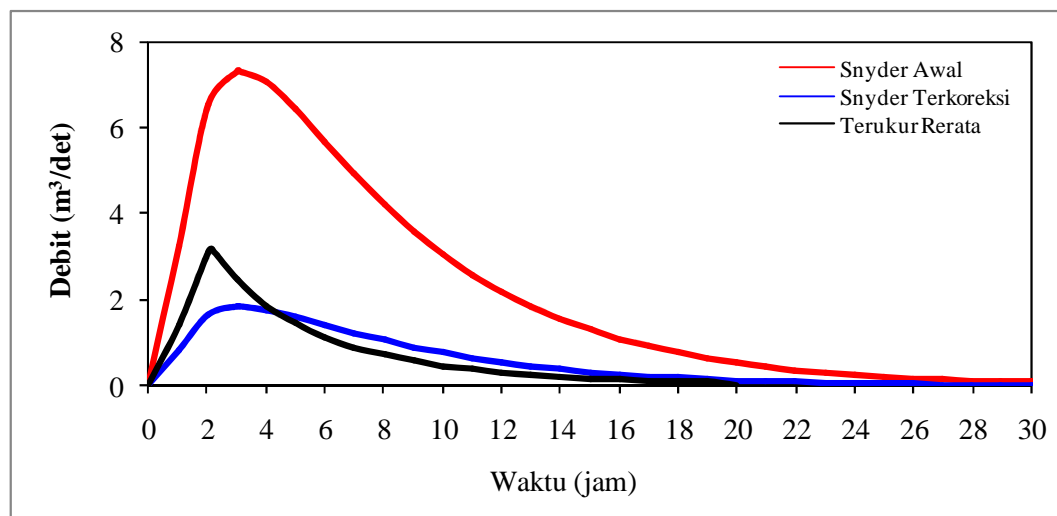
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2/X)}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³ /det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.30	0.40	2.63	9465.47	0.66	2386.82
3	2	0.60	0.86	5.68	20462.16	1.43	5159.76
4	3	0.90	0.99	6.56	23598.95	1.65	5950.74
5	3.31	1.00	1.00	6.59	23733.19	1.66	5984.59
6	4	1.21	0.98	6.46	23260.39	1.63	5865.37
7	5	1.51	0.91	5.98	21530.52	1.51	5429.16
8	6	1.81	0.81	5.36	19312.95	1.35	4869.98
9	7	2.11	0.72	4.73	17015.56	1.19	4290.66
10	8	2.41	0.62	4.12	14824.21	1.04	3738.09
11	9	2.71	0.54	3.56	12818.83	0.90	3232.41
12	10	3.02	0.46	3.06	11026.84	0.77	2780.54
13	11	3.32	0.40	2.62	9449.31	0.66	2382.75
14	12	3.62	0.34	2.24	8074.38	0.57	2036.04
15	13	3.92	0.29	1.91	6884.36	0.48	1735.97
16	14	4.22	0.25	1.63	5859.61	0.41	1477.57
17	15	4.52	0.21	1.38	4980.51	0.35	1255.89
18	16	4.83	0.18	1.17	4228.56	0.30	1066.28
19	17	5.13	0.15	1.00	3586.82	0.25	904.46
20	18	5.43	0.13	0.84	3040.13	0.21	766.60
21	19	5.73	0.11	0.72	2575.09	0.18	649.34
22	20	6.03	0.09	0.61	2179.99	0.15	549.71
23	21	6.33	0.08	0.51	1844.63	0.13	465.15
Jumlah Volume (m ³)				259794.14		65510	
Luas DAS (m ²)				65510000.00		65510000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				3.97		1	



Gambar C1-3 HSS Snyder I-Alexejev DAS Toaya

Tabel C1-4 HSS Snyder-Alexejev DAS Bangga

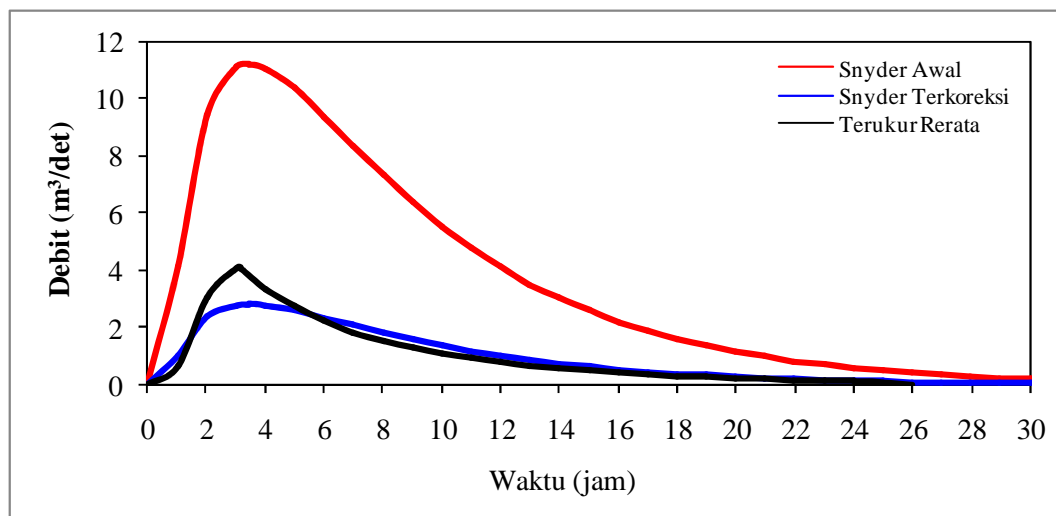
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2)/X}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³ /det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.32	0.44	3.25	11716.83	0.82	2935.34
3	2	0.64	0.89	6.55	23585.61	1.64	5908.75
4	3	0.97	1.00	7.32	26357.53	1.83	6603.18
5	3.10	1.00	1.00	7.33	26375.25	1.84	6607.62
6	4	1.29	0.96	7.06	25425.39	1.77	6369.65
7	5	1.61	0.88	6.42	23124.51	1.61	5793.23
8	6	1.93	0.77	5.67	20422.01	1.42	5116.19
9	7	2.25	0.67	4.93	17734.64	1.23	4442.94
10	8	2.58	0.58	4.23	15239.90	1.06	3817.95
11	9	2.90	0.49	3.61	13004.67	0.90	3257.97
12	10	3.22	0.42	3.07	11042.99	0.77	2766.53
13	11	3.54	0.35	2.60	9343.84	0.65	2340.85
14	12	3.86	0.30	2.19	7885.00	0.55	1975.38
15	13	4.19	0.25	1.84	6640.26	0.46	1663.54
16	14	4.51	0.21	1.55	5582.98	0.39	1398.67
17	15	4.83	0.18	1.30	4687.97	0.33	1174.45
18	16	5.15	0.15	1.09	3932.31	0.27	985.14
19	17	5.48	0.12	0.92	3295.60	0.23	825.63
20	18	5.80	0.10	0.77	2760.00	0.19	691.44
21	19	6.12	0.09	0.64	2310.04	0.16	578.72
22	20	6.44	0.07	0.54	1932.43	0.13	484.12
23	21	6.76	0.06	0.45	1615.84	0.11	404.81
Jumlah Volume (m ³)					272190.13		68190
Luas DAS (m ²)					68190000.00		68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					3.99		1



Gambar C1-4 HSS Snyder-Alexejev DAS Bangga

Tabel C1-5 HSS Snyder-Alexejev DAS Singkoyo

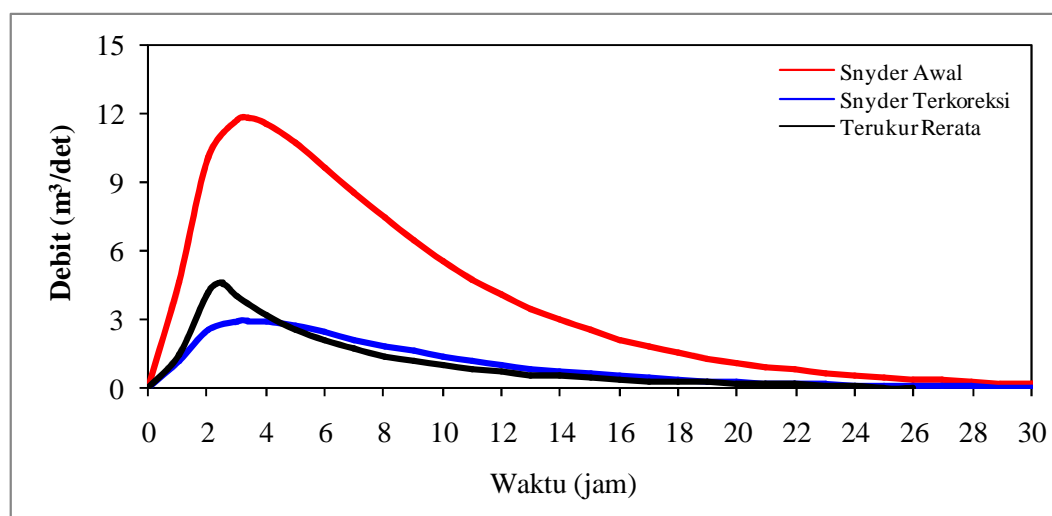
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2)/X}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi (m^3/det)	Volume Koreksi (m^3/det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.29	0.37	4.15	14955.40	1.05	3786.09
3	2	0.58	0.84	9.41	33882.76	2.38	8577.72
4	3	0.87	0.99	11.08	39877.63	2.80	10095.37
5	3.45	1.00	1.00	11.20	40333.93	2.84	10210.89
6	4	1.16	0.99	11.07	39844.87	2.80	10087.08
7	5	1.45	0.92	10.36	37288.28	2.62	9439.86
8	6	1.74	0.84	9.38	33771.54	2.37	8549.56
9	7	2.03	0.74	8.34	30019.45	2.11	7599.69
10	8	2.32	0.65	7.33	26373.97	1.85	6676.80
11	9	2.60	0.57	6.39	22991.23	1.62	5820.43
12	10	2.89	0.49	5.54	19933.27	1.40	5046.28
13	11	3.18	0.43	4.78	17213.58	1.21	4357.77
14	12	3.47	0.37	4.12	14820.78	1.04	3752.01
15	13	3.76	0.32	3.54	12731.40	0.90	3223.07
16	14	4.05	0.27	3.03	10916.92	0.77	2763.71
17	15	4.34	0.23	2.60	9347.57	0.66	2366.42
18	16	4.63	0.20	2.22	7994.47	0.56	2023.87
19	17	4.92	0.17	1.90	6830.65	0.48	1729.24
20	18	5.21	0.14	1.62	5831.58	0.41	1476.31
21	19	5.50	0.12	1.38	4975.27	0.35	1259.53
22	20	5.79	0.11	1.18	4242.26	0.30	1073.97
23	21	6.08	0.09	1.00	3615.47	0.25	915.29
Jumlah Volume (m^3)				458407.97		116050	
Luas DAS (m^2)				116050000.00		116050000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				3.95		1	



Gambar C1-5 HSS Snyder-Alexejev DAS Singkoyo

Tabel C1-6 HSS Snyder-Alexejev DAS Tambun

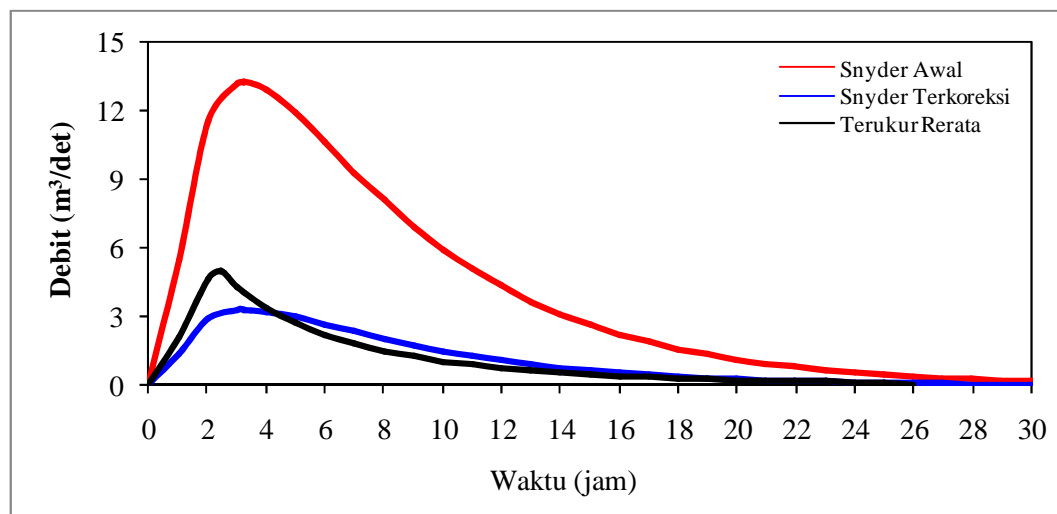
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2/X)}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi (m^3/det)	Volume Koreksi (m^3/det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.30	0.39	4.61	16595.77	1.16	4189.05
3	2	0.60	0.86	10.08	36299.71	2.55	9162.65
4	3	0.90	0.99	11.69	42078.65	2.95	10621.34
5	3.35	1.00	1.00	11.77	42371.22	2.97	10695.19
6	4	1.19	0.98	11.56	41618.23	2.92	10505.13
7	5	1.49	0.91	10.73	38630.53	2.71	9750.98
8	6	1.79	0.82	9.65	34736.85	2.44	8768.16
9	7	2.09	0.72	8.52	30674.09	2.15	7742.65
10	8	2.39	0.63	7.44	26781.13	1.88	6760.00
11	9	2.69	0.55	6.45	23206.17	1.63	5857.62
12	10	2.99	0.47	5.56	20002.31	1.40	5048.91
13	11	3.28	0.41	4.77	17174.56	1.20	4335.14
14	12	3.58	0.35	4.08	14704.07	1.03	3711.55
15	13	3.88	0.30	3.49	12561.03	0.88	3170.61
16	14	4.18	0.25	2.98	10711.63	0.75	2703.79
17	15	4.48	0.22	2.53	9121.79	0.64	2302.49
18	16	4.78	0.18	2.16	7759.11	0.54	1958.53
19	17	5.07	0.16	1.83	6593.84	0.46	1664.39
20	18	5.37	0.13	1.56	5599.21	0.39	1413.33
21	19	5.67	0.11	1.32	4751.50	0.33	1199.36
22	20	5.97	0.10	1.12	4029.88	0.28	1017.21
23	21	6.27	0.08	0.95	3416.23	0.24	862.31
Jumlah Volume (m^3)				468234.04		118190	
Luas DAS (m^2)				118190000.00		118190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				3.96		1	



Gambar C1-6 HSS Snyder-Alexejev DAS Tambun

Tabel C1-7 HSS Snyder-Alexejev DAS Malino

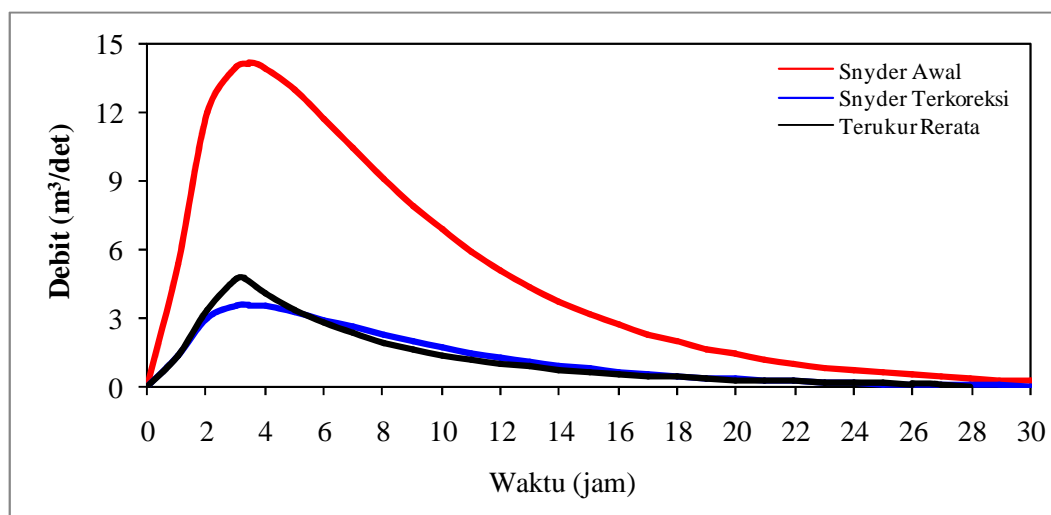
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2/X)}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi (m^3/det)	Volume Koreksi (m^3/det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.31	0.41	5.44	19581.46	1.37	4928.52
3	2	0.61	0.87	11.51	41448.44	2.90	10432.29
4	3	0.92	1.00	13.16	47363.81	3.31	11921.15
5	3.25	1.00	1.00	13.21	47540.10	3.32	11965.52
6	4	1.23	0.98	12.89	46393.16	3.24	11676.84
7	5	1.54	0.90	11.87	42725.67	2.99	10753.76
8	6	1.84	0.80	10.60	38153.77	2.67	9603.04
9	7	2.15	0.70	9.30	33476.25	2.34	8425.74
10	8	2.46	0.61	8.07	29050.62	2.03	7311.84
11	9	2.77	0.53	6.95	25025.73	1.75	6298.80
12	10	3.07	0.45	5.96	21448.01	1.50	5398.32
13	11	3.38	0.39	5.09	18313.22	1.28	4609.31
14	12	3.69	0.33	4.33	15592.85	1.09	3924.61
15	13	4.00	0.28	3.68	13248.00	0.93	3334.43
16	14	4.30	0.24	3.12	11236.72	0.79	2828.20
17	15	4.61	0.20	2.64	9517.88	0.67	2395.58
18	16	4.92	0.17	2.24	8053.10	0.56	2026.91
19	17	5.23	0.14	1.89	6807.57	0.48	1713.42
20	18	5.53	0.12	1.60	5750.33	0.40	1447.32
21	19	5.84	0.10	1.35	4854.20	0.34	1221.77
22	20	6.15	0.09	1.14	4095.50	0.29	1030.81
23	21	6.46	0.07	0.96	3453.79	0.24	869.29
Jumlah Volume (m^3)				511535.62		128750	
Luas DAS (m^2)				128750000.00		128750000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				3.97		1	



Gambar C1-7 HSS Snyder-Alexejev DAS Malino

Tabel C1–8 HSS Snyder-Alexejev DAS Bunta

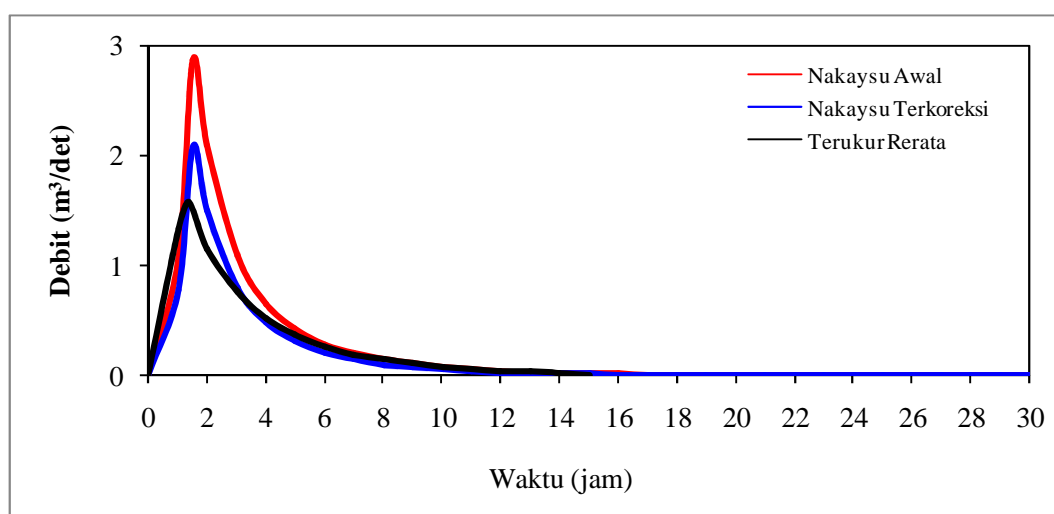
No	Waktu T (Jam)	$X=T/T_p$	$Y=10^{-a((1-X)^2)/X}$ $Y=Q/Q_p$	Debit $Q=Y*Q_p$ (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³ /det)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.29	0.38	5.33	19191.85	1.35	4853.92
3	2	0.58	0.85	11.94	42974.94	3.02	10869.03
4	3	0.88	0.99	13.98	50324.71	3.54	12727.90
5	3.42	1.00	1.00	14.12	50819.62	3.57	12853.07
6	4	1.17	0.99	13.92	50114.60	3.52	12674.76
7	5	1.46	0.92	12.99	46772.86	3.29	11829.58
8	6	1.75	0.83	11.74	42261.70	2.97	10688.64
9	7	2.05	0.74	10.41	37484.89	2.63	9480.51
10	8	2.34	0.65	9.13	32865.35	2.31	8312.16
11	9	2.63	0.56	7.94	28593.58	2.01	7231.76
12	10	2.92	0.49	6.87	24743.02	1.74	6257.90
13	11	3.22	0.42	5.92	21327.05	1.50	5393.94
14	12	3.51	0.36	5.09	18328.59	1.29	4635.59
15	13	3.80	0.31	4.37	15716.03	1.10	3974.83
16	14	4.09	0.26	3.74	13451.89	0.95	3402.19
17	15	4.39	0.23	3.19	11497.55	0.81	2907.91
18	16	4.68	0.19	2.73	9815.76	0.69	2482.56
19	17	4.97	0.16	2.33	8372.00	0.59	2117.41
20	18	5.26	0.14	1.98	7134.92	0.50	1804.53
21	19	5.56	0.12	1.69	6076.57	0.43	1536.86
22	20	5.85	0.10	1.44	5172.27	0.36	1308.15
23	21	6.14	0.09	1.22	4400.40	0.31	1112.93
Jumlah Volume (m ³)				572246.30		144730	
Luas DAS (m ²)				144730000.00		144730000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)				3.95		1	



Gambar C1–8 HSS Snyder-Alexejev DAS Bunta

Tabel C2-1 HSS Nakayasu DAS Bahomoleo

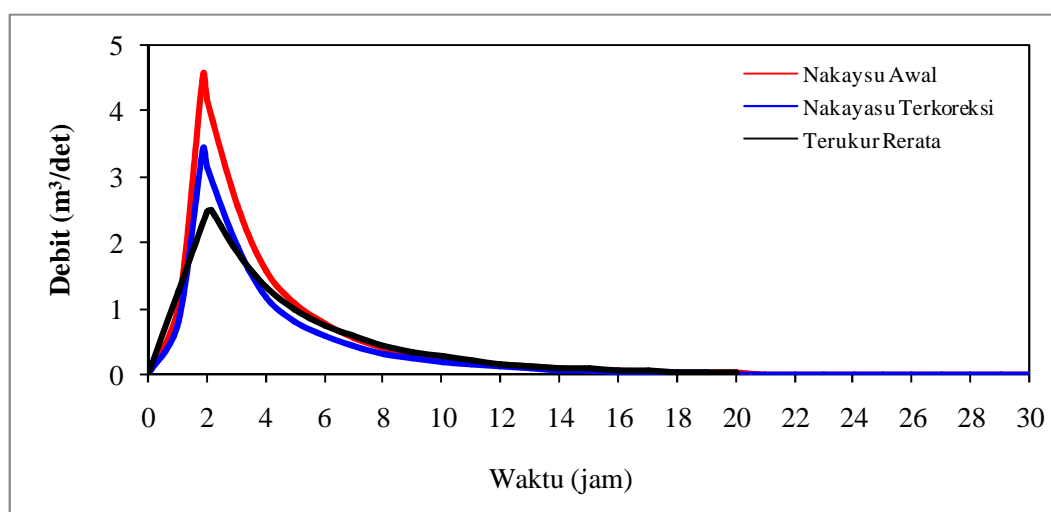
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	1.07	3863.94	0.78	2791.13	Q _a
3	1.51	2.87	10320.90	2.07	7455.35	Q _p
4	2.00	2.08	7498.19	1.50	5416.35	Q _{d1}
5	3.00	1.09	3927.71	0.79	2837.20	Q _{d1}
6	4.00	0.65	2357.73	0.47	1703.12	Q _{d2}
7	5.00	0.43	1532.09	0.31	1106.71	Q _{d2}
8	6.00	0.28	995.57	0.20	719.15	Q _{d2}
9	7.00	0.20	708.17	0.14	511.55	Q _{d3}
10	8.00	0.14	512.54	0.10	370.23	Q _{d3}
11	9.00	0.10	370.95	0.07	267.96	Q _{d3}
12	10.00	0.07	268.48	0.05	193.94	Q _{d3}
13	11.00	0.05	194.31	0.04	140.36	Q _{d3}
14	12.00	0.04	140.63	0.03	101.59	Q _{d3}
15	13.00	0.03	101.79	0.02	73.52	Q _{d3}
16	14.00	0.02	73.67	0.01	53.21	Q _{d3}
17	15.00	0.01	53.32	0.01	38.51	Q _{d3}
18	16.00	0.01	38.59	0.01	27.87	Q _{d3}
19	17.00	0.01	27.93	0.01	20.17	Q _{d3}
20	18.00	0.01	20.21	0.00	14.60	Q _{d3}
21	19.00	0.00	14.63	0.00	10.57	Q _{d3}
22	20.00	0.00	10.59	0.00	7.65	Q _{d3}
23	21.00	0.00	7.66	0.00	5.54	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			33058.59		23880.00	
Luas DAS (m ²)			23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.38		1.00	



Gambar C2-1 HSS Nakayasu DAS Bahomoleo

Tabel C2-2 HSS Nakayasu DAS Pinamula

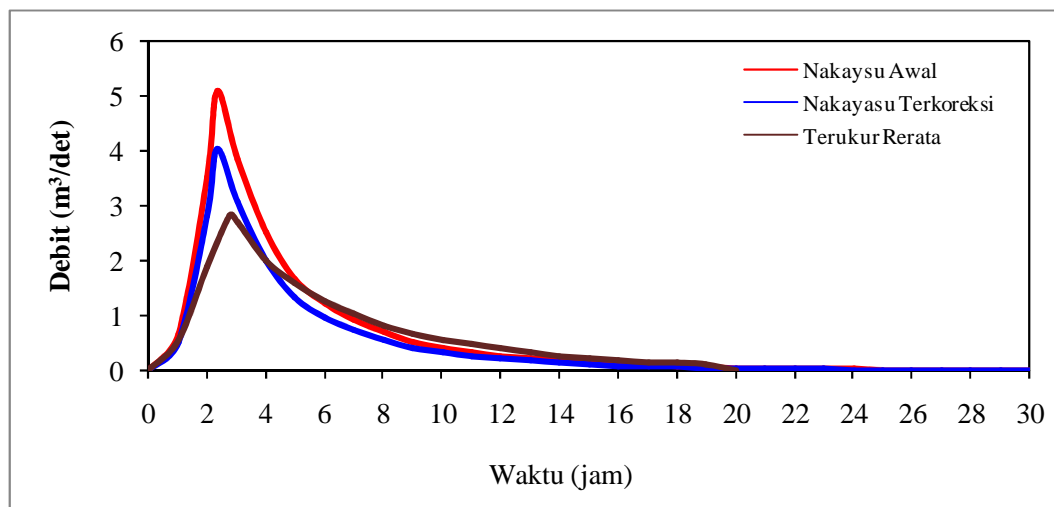
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	1.06	3825.76	0.80	2875.58	Q _a
3	1.83	4.53	16308.37	3.40	12257.95	Q _p
4	2.00	4.17	15012.61	3.13	11284.01	Q _{d1}
5	3.00	2.56	9233.70	1.93	6940.38	Q _{d1}
6	4.00	1.58	5679.31	1.19	4268.77	Q _{d1}
7	5.00	1.09	3908.29	0.82	2937.61	Q _{d2}
8	6.00	0.79	2826.62	0.59	2124.59	Q _{d2}
9	7.00	0.57	2044.31	0.43	1536.58	Q _{d2}
10	8.00	0.41	1478.52	0.31	1111.31	Q _{d2}
11	9.00	0.32	1157.42	0.24	869.96	Q _{d3}
12	10.00	0.25	907.72	0.19	682.28	Q _{d3}
13	11.00	0.20	711.89	0.15	535.08	Q _{d3}
14	12.00	0.16	558.31	0.12	419.64	Q _{d3}
15	13.00	0.12	437.86	0.09	329.11	Q _{d3}
16	14.00	0.10	343.39	0.07	258.11	Q _{d3}
17	15.00	0.07	269.31	0.06	202.42	Q _{d3}
18	16.00	0.06	211.21	0.04	158.75	Q _{d3}
19	17.00	0.05	165.64	0.03	124.50	Q _{d3}
20	18.00	0.04	129.91	0.03	97.64	Q _{d3}
21	19.00	0.03	101.88	0.02	76.58	Q _{d3}
22	20.00	0.02	79.90	0.02	60.06	Q _{d3}
23	21.00	0.02	62.66	0.01	47.10	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			65656.82		49350.00	
Luas DAS (m ²)			49350000.00		49350000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.33		1.00	



Gambar C2-2 HSS Nakayasu DAS Pinamula

Tabel C2-3 HSS Nakayasu DAS Toaya

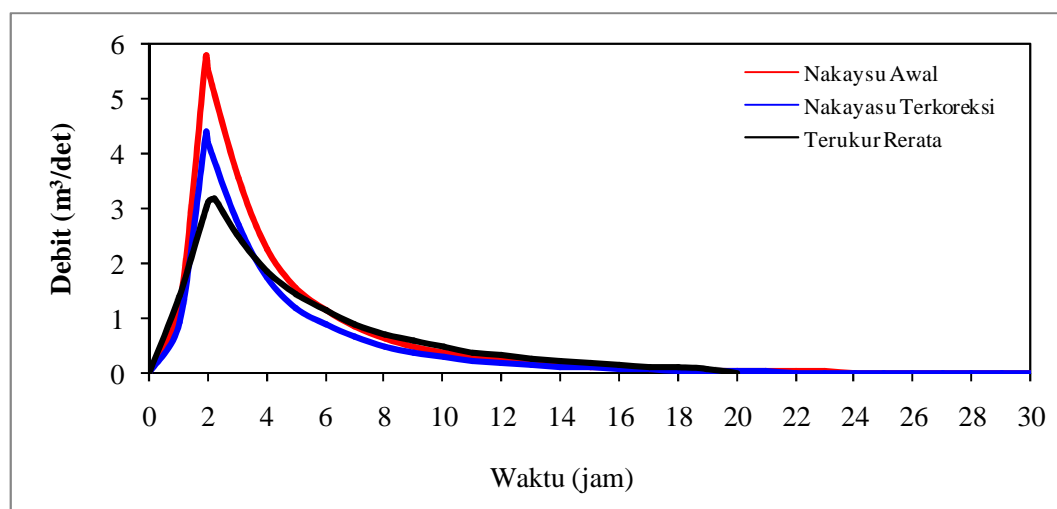
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	0.66	2393.05	0.53	1905.65	Q _a
3	2.00	3.51	12630.58	2.79	10058.07	Q _a
4	2.33	5.07	18251.45	4.04	14534.12	Q _p
5	3.00	3.84	13814.95	3.06	11001.22	Q _{d1}
6	4.00	2.53	9107.78	2.01	7252.77	Q _{d1}
7	5.00	1.67	6004.48	1.33	4781.53	Q _{d1}
8	6.00	1.23	4410.61	0.98	3512.29	Q _{d2}
9	7.00	0.93	3340.98	0.74	2660.51	Q _{d2}
10	8.00	0.70	2530.75	0.56	2015.31	Q _{d2}
11	9.00	0.53	1917.01	0.42	1526.57	Q _{d2}
12	10.00	0.42	1497.56	0.33	1192.55	Q _{d3}
13	11.00	0.34	1215.95	0.27	968.30	Q _{d3}
14	12.00	0.27	987.30	0.22	786.21	Q _{d3}
15	13.00	0.22	801.64	0.18	638.37	Q _{d3}
16	14.00	0.18	650.90	0.14	518.33	Q _{d3}
17	15.00	0.15	528.50	0.12	420.86	Q _{d3}
18	16.00	0.12	429.12	0.09	341.72	Q _{d3}
19	17.00	0.10	348.42	0.08	277.46	Q _{d3}
20	18.00	0.08	282.90	0.06	225.28	Q _{d3}
21	19.00	0.06	229.70	0.05	182.92	Q _{d3}
22	20.00	0.05	186.51	0.04	148.52	Q _{d3}
23	21.00	0.04	151.44	0.03	120.59	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			82265.18		65510.00	
Luas DAS (m ²)			65510000.00		65510000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.26		1.00	



Gambar C2-3 HSS Nakayasu DAS Toaya

Tabel C2-4 HSS Nakayasu DAS Bangga

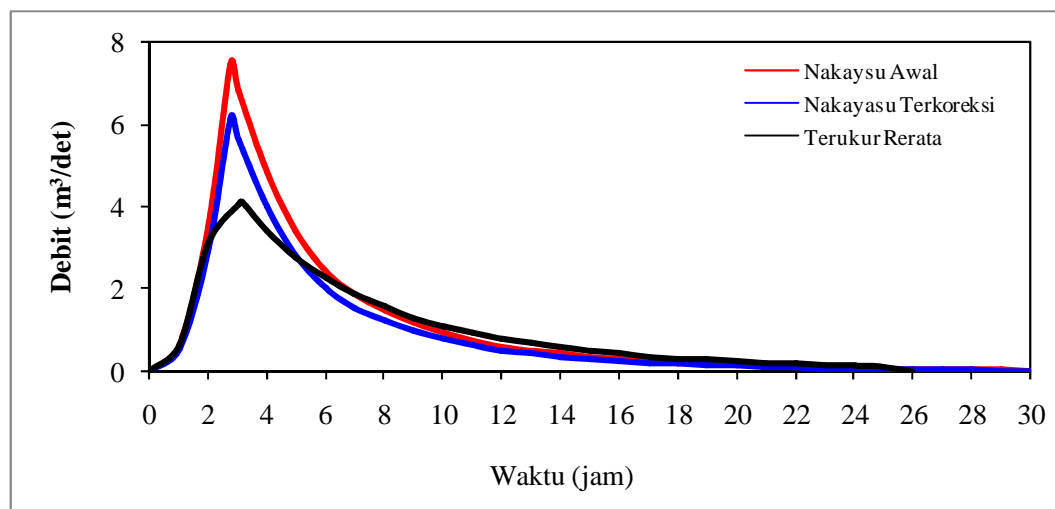
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	1.24	4448.07	0.94	3382.01	Q _a
3	1.90	5.76	20720.09	4.38	15754.14	Q _p
4	2.00	5.50	19810.81	4.18	15062.79	Q _{d1}
5	3.00	3.54	12728.26	2.69	9677.70	Q _{d1}
6	4.00	2.27	8177.79	1.73	6217.83	Q _{d1}
7	5.00	1.54	5556.99	1.17	4225.16	Q _{d2}
8	6.00	1.15	4137.62	0.87	3145.97	Q _{d2}
9	7.00	0.86	3080.79	0.65	2342.42	Q _{d2}
10	8.00	0.64	2293.89	0.48	1744.12	Q _{d2}
11	9.00	0.48	1745.91	0.37	1327.47	Q _{d3}
12	10.00	0.39	1399.44	0.30	1064.04	Q _{d3}
13	11.00	0.31	1121.73	0.24	852.89	Q _{d3}
14	12.00	0.25	899.13	0.19	683.64	Q _{d3}
15	13.00	0.20	720.70	0.15	547.97	Q _{d3}
16	14.00	0.16	577.68	0.12	439.23	Q _{d3}
17	15.00	0.13	463.04	0.10	352.07	Q _{d3}
18	16.00	0.10	371.16	0.08	282.20	Q _{d3}
19	17.00	0.08	297.50	0.06	226.20	Q _{d3}
20	18.00	0.07	238.46	0.05	181.31	Q _{d3}
21	19.00	0.05	191.14	0.04	145.33	Q _{d3}
22	20.00	0.04	153.21	0.03	116.49	Q _{d3}
23	21.00	0.03	122.81	0.03	93.37	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			89684.54		68190.00	
Luas DAS (m ²)			68190000.00		68190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.32		1.00	



Gambar C2-4 HSS Nakayasu DAS Bangga

Tabel C2-5 HSS Nakayasu DAS Singkoyo

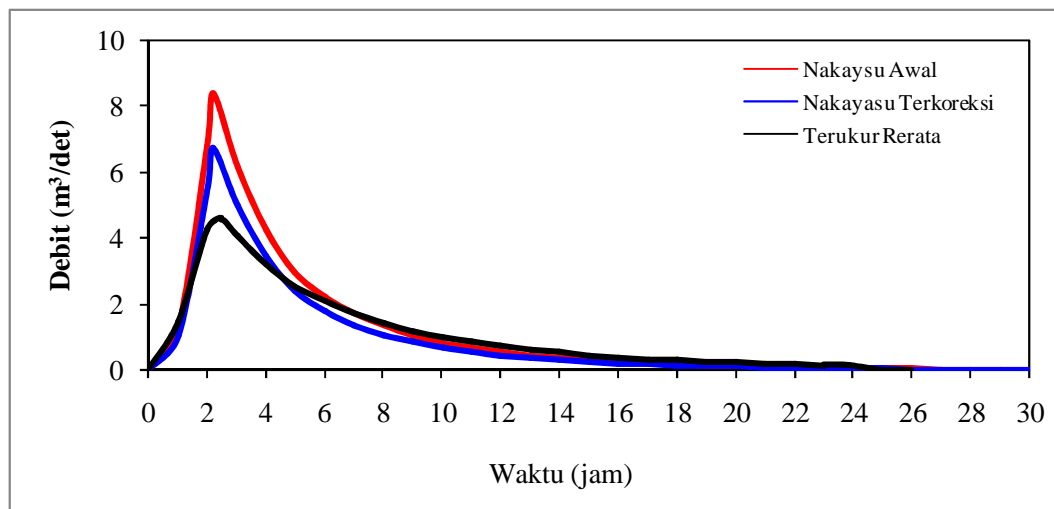
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	0.66	2390.93	0.55	1970.32	Q _a
3	2.00	3.51	12619.41	2.89	10399.43	Q _a
4	2.74	7.44	26793.22	6.13	22079.81	Q _p
5	3.00	6.80	24482.06	5.60	20175.23	Q _{d1}
6	4.00	4.83	17373.57	3.98	14317.25	Q _{d1}
7	5.00	3.42	12329.07	2.82	10160.16	Q _{d1}
8	6.00	2.43	8749.26	2.00	7210.11	Q _{d1}
9	7.00	1.88	6766.91	1.55	5576.49	Q _{d2}
10	8.00	1.50	5383.74	1.23	4436.65	Q _{d2}
11	9.00	1.19	4283.30	0.98	3529.79	Q _{d2}
12	10.00	0.95	3407.79	0.78	2808.30	Q _{d2}
13	11.00	0.75	2711.23	0.62	2234.28	Q _{d2}
14	12.00	0.62	2218.00	0.51	1827.82	Q _{d3}
15	13.00	0.52	1868.46	0.43	1539.76	Q _{d3}
16	14.00	0.44	1574.00	0.36	1297.10	Q _{d3}
17	15.00	0.37	1325.94	0.30	1092.68	Q _{d3}
18	16.00	0.31	1116.98	0.26	920.48	Q _{d3}
19	17.00	0.26	940.95	0.22	775.42	Q _{d3}
20	18.00	0.22	792.66	0.18	653.21	Q _{d3}
21	19.00	0.19	667.74	0.15	550.27	Q _{d3}
22	20.00	0.16	562.51	0.13	463.55	Q _{d3}
23	21.00	0.13	473.86	0.11	390.50	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			140823.36		116050.00	
Luas DAS (m ²)			116050000.00		116050000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.21		1.00	



Gambar C2-5 HSS Nakayasu DAS Singkoyo

Tabel C2-6 HSS Nakayasu DAS Tambun

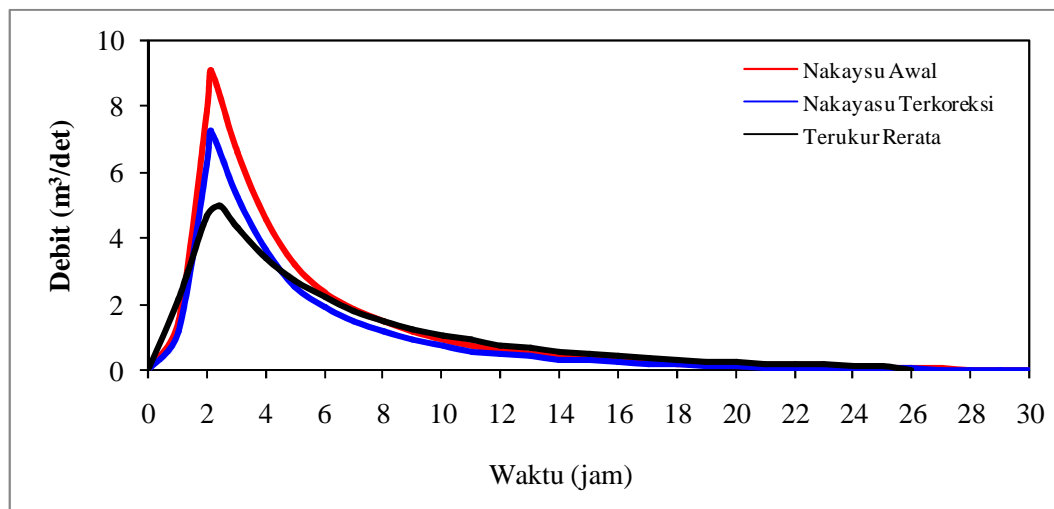
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	1.28	4614.77	1.03	3708.15	Q _a
3	2.00	6.77	24356.92	5.44	19571.74	Q _a
4	2.18	8.35	30060.27	6.71	24154.60	Q _p
5	3.00	6.19	22267.01	4.97	17892.42	Q _{d1}
6	4.00	4.28	15420.27	3.44	12390.79	Q _{d1}
7	5.00	2.97	10678.78	2.38	8580.82	Q _{d1}
8	6.00	2.19	7900.83	1.76	6348.62	Q _{d2}
9	7.00	1.72	6184.33	1.38	4969.35	Q _{d2}
10	8.00	1.34	4840.75	1.08	3889.73	Q _{d2}
11	9.00	1.05	3789.07	0.85	3044.66	Q _{d2}
12	10.00	0.82	2965.87	0.66	2383.19	Q _{d2}
13	11.00	0.67	2412.06	0.54	1938.18	Q _{d3}
14	12.00	0.56	2007.26	0.45	1612.91	Q _{d3}
15	13.00	0.46	1670.39	0.37	1342.22	Q _{d3}
16	14.00	0.39	1390.06	0.31	1116.97	Q _{d3}
17	15.00	0.32	1156.77	0.26	929.51	Q _{d3}
18	16.00	0.27	962.64	0.21	773.52	Q _{d3}
19	17.00	0.22	801.08	0.18	643.70	Q _{d3}
20	18.00	0.19	666.64	0.15	535.67	Q _{d3}
21	19.00	0.15	554.76	0.12	445.77	Q _{d3}
22	20.00	0.13	461.66	0.10	370.96	Q _{d3}
23	21.00	0.11	384.18	0.09	308.71	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			147086.77		118190.00	
Luas DAS (m ²)			118190000.00		118190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.24		1.00	



Gambar C2-6 HSS Nakayasu DAS Tambun

Tabel C2-7 HSS Nakayasu DAS Malino

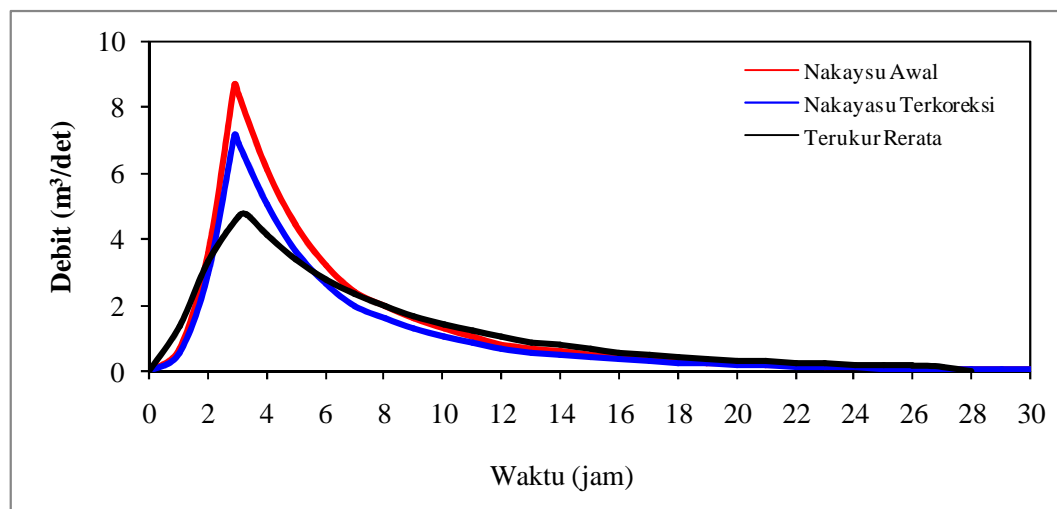
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	1.49	5380.17	1.19	4297.35	Q _a
3	2.00	7.89	28396.73	6.30	22681.54	Q _a
4	2.12	9.06	32601.02	7.23	26039.66	Q _p
5	3.00	6.57	23666.13	5.25	18903.03	Q _{d1}
6	4.00	4.57	16456.44	3.65	13144.38	Q _{d1}
7	5.00	3.18	11443.12	2.54	9140.05	Q _{d1}
8	6.00	2.37	8523.53	1.89	6808.06	Q _{d2}
9	7.00	1.86	6689.99	1.48	5343.54	Q _{d2}
10	8.00	1.46	5250.87	1.17	4194.06	Q _{d2}
11	9.00	1.14	4121.32	0.91	3291.86	Q _{d2}
12	10.00	0.90	3234.76	0.72	2583.73	Q _{d2}
13	11.00	0.73	2632.42	0.58	2102.61	Q _{d3}
14	12.00	0.61	2195.12	0.49	1753.33	Q _{d3}
15	13.00	0.51	1830.47	0.41	1462.07	Q _{d3}
16	14.00	0.42	1526.40	0.34	1219.19	Q _{d3}
17	15.00	0.35	1272.83	0.28	1016.66	Q _{d3}
18	16.00	0.29	1061.39	0.24	847.77	Q _{d3}
19	17.00	0.25	885.08	0.20	706.94	Q _{d3}
20	18.00	0.21	738.05	0.16	589.51	Q _{d3}
21	19.00	0.17	615.44	0.14	491.58	Q _{d3}
22	20.00	0.14	513.21	0.11	409.92	Q _{d3}
23	21.00	0.12	427.95	0.09	341.82	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			161191.87		128750.00	
Luas DAS (m ²)			128750000.00		128750000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.25		1.00	



Gambar C2-7 HSS Nakayasu DAS Malino

Tabel C2-8 HSS Nakayasu DAS Bunta

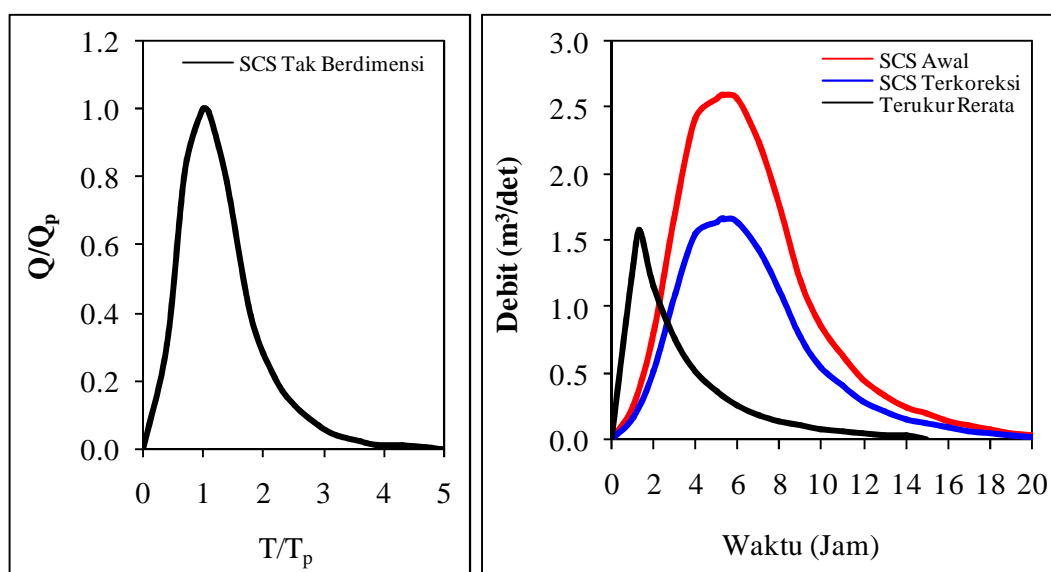
No.	Waktu <i>T</i> (Jam)	Debit <i>Q</i> (m ³ /det)	Volume <i>V</i> (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)	Ket
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q _a
2	1.00	0.68	2441.81	0.56	2020.67	Q _a
3	2.00	3.58	12887.97	2.96	10665.17	Q _a
4	2.89	8.66	31189.85	7.17	25810.51	Q _p
5	3.00	8.37	30117.98	6.92	24923.51	Q _{d1}
6	4.00	6.08	21890.10	5.03	18114.70	Q _{d1}
7	5.00	4.42	15909.98	3.66	13165.97	Q _{d1}
8	6.00	3.21	11563.56	2.66	9569.18	Q _{d1}
9	7.00	2.42	8710.71	2.00	7208.37	Q _{d2}
10	8.00	1.96	7041.55	1.62	5827.09	Q _{d2}
11	9.00	1.58	5692.24	1.31	4710.49	Q _{d2}
12	10.00	1.28	4601.48	1.06	3807.86	Q _{d2}
13	11.00	1.03	3719.74	0.86	3078.19	Q _{d2}
14	12.00	0.84	3006.95	0.69	2488.34	Q _{d2}
15	13.00	0.70	2519.82	0.58	2085.23	Q _{d3}
16	14.00	0.60	2148.23	0.49	1777.72	Q _{d3}
17	15.00	0.51	1831.44	0.42	1515.57	Q _{d3}
18	16.00	0.43	1561.36	0.36	1292.07	Q _{d3}
19	17.00	0.37	1331.11	0.31	1101.53	Q _{d3}
20	18.00	0.32	1134.81	0.26	939.09	Q _{d3}
21	19.00	0.27	967.47	0.22	800.61	Q _{d3}
22	20.00	0.23	824.80	0.19	682.54	Q _{d3}
23	21.00	0.20	703.17	0.16	581.89	Q _{d3}
Jumlah Volume (m ³)			174894.14		144730.00	
Luas DAS (m ²)			144730000.00		144730000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.21		1.00	



Gambar C2-8 HSS Nakayasu DAS Bunta

Tabel C3-1 HSS SCS DAS Bahomoleo

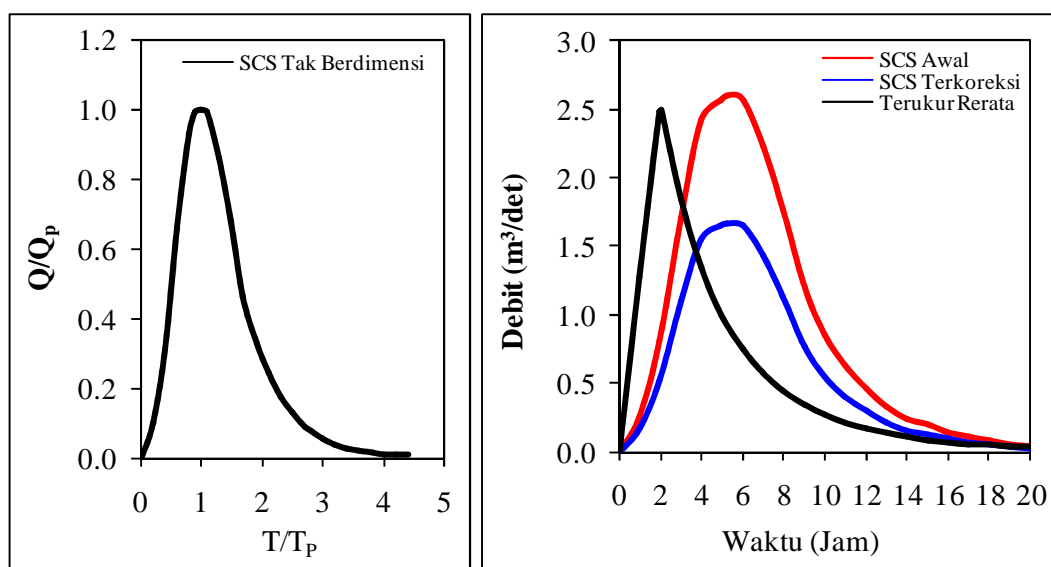
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.40	0.31	0.74	2654.48	0.43	1548.70
3	0.20	0.10	2	0.70	0.82	1.95	7021.54	1.14	4096.57
4	0.30	0.19	2.79	1.00	1.00	2.38	8562.85	1.39	4995.82
5	0.40	0.31	3	1.10	0.99	2.35	8477.22	1.37	4945.86
6	0.50	0.47	4	1.40	0.78	1.86	6679.03	1.08	3896.74
7	0.60	0.66	5	1.80	0.39	0.93	3339.51	0.54	1948.37
8	0.70	0.82	6	2.20	0.21	0.49	1772.51	0.29	1034.13
9	0.80	0.93	7	2.50	0.13	0.30	1087.48	0.18	634.47
10	0.90	0.99	8	2.90	0.07	0.16	565.15	0.09	329.72
11	1.00	1.00	9	3.20	0.04	0.10	342.51	0.06	199.83
12	1.10	0.99	10	3.60	0.02	0.05	179.82	0.03	104.91
13	1.20	0.93	11	3.90	0.01	0.03	111.32	0.02	64.95
14	1.30	0.86	12	4.30	0.01	0.03	94.19	0.02	54.95
15	1.40	0.78	13	4.70	0.01	0.01	42.81	0.01	24.98
16	1.50	0.68	14	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	1.60	0.56	15	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	1.70	0.46	16	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	1.80	0.39	17	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	1.90	0.33	18	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	1.95	0.31	19	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.00	0.28	20	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	2.10	0.24	21	7.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)						40930.44		23880.00	
Luas DAS (m ²)						23880000.00		23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.71		1.00	



Gambar C3-1 HSS SCS DAS Bahomoleo

Tabel C3-2 HSS SC DAS Pinamula

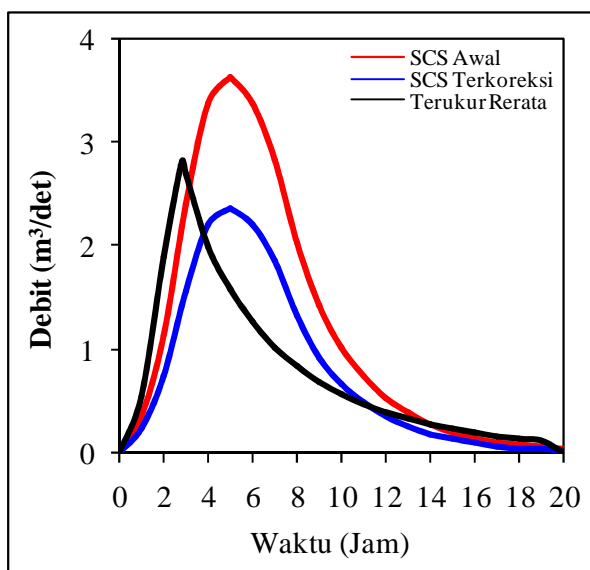
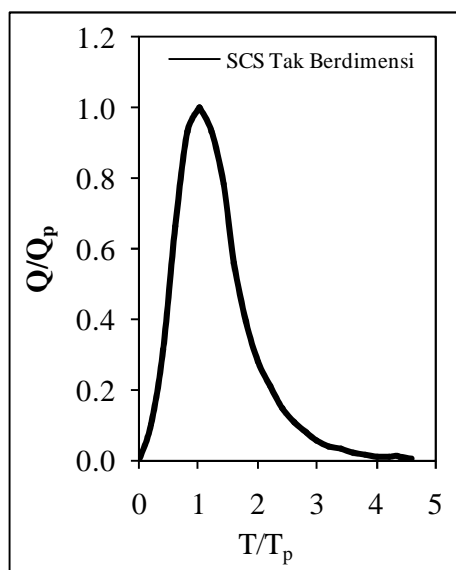
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.20	0.10	0.26	936.46	0.17	599.31
3	0.20	0.10	2	0.40	0.31	0.81	2903.03	0.52	1857.85
4	0.30	0.19	3	0.60	0.66	1.72	6180.65	1.10	3955.43
5	0.40	0.31	4	0.80	0.93	2.42	8709.09	1.55	5573.56
6	0.50	0.47	5	0.90	0.99	2.58	9270.97	1.65	5933.15
7	0.60	0.66	5.27	1.00	1.00	2.60	9364.62	1.66	5993.08
8	0.70	0.82	6	1.10	0.99	2.58	9270.97	1.65	5933.15
9	0.80	0.93	7	1.30	0.86	2.24	8053.57	1.43	5154.05
10	0.90	0.99	8	1.50	0.68	1.77	6367.94	1.13	4075.29
11	1.00	1.00	9	1.70	0.46	1.20	4307.72	0.77	2756.82
12	1.10	0.99	10	1.90	0.33	0.86	3090.32	0.55	1977.72
13	1.20	0.93	11	2.10	0.24	0.63	2280.28	0.41	1459.31
14	1.30	0.86	12	2.30	0.18	0.46	1657.54	0.29	1060.77
15	1.40	0.78	13	2.50	0.13	0.33	1189.31	0.21	761.12
16	1.50	0.68	14	2.70	0.09	0.24	861.54	0.15	551.36
17	1.60	0.56	15	2.80	0.08	0.20	721.08	0.13	461.47
18	1.70	0.46	16	3.00	0.06	0.14	515.05	0.09	329.62
19	1.80	0.39	17	3.20	0.04	0.10	374.58	0.07	239.72
20	1.90	0.33	18	3.40	0.03	0.08	271.57	0.05	173.80
21	1.95	0.31	19	3.60	0.02	0.05	196.66	0.03	125.85
22	2.00	0.28	20	3.80	0.02	0.04	140.47	0.02	89.90
23	2.10	0.24	21	4.00	0.01	0.03	103.01	0.02	65.92
Jumlah Volume (m ³)						77112.95		49350.00	
Luas DAS (m ²)						49350000.00		49350000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.56		1.00	



Gambar C3-2 HSS SCS DAS Pinamula

Tabel C3-3 HSS SCS DAS Toaya

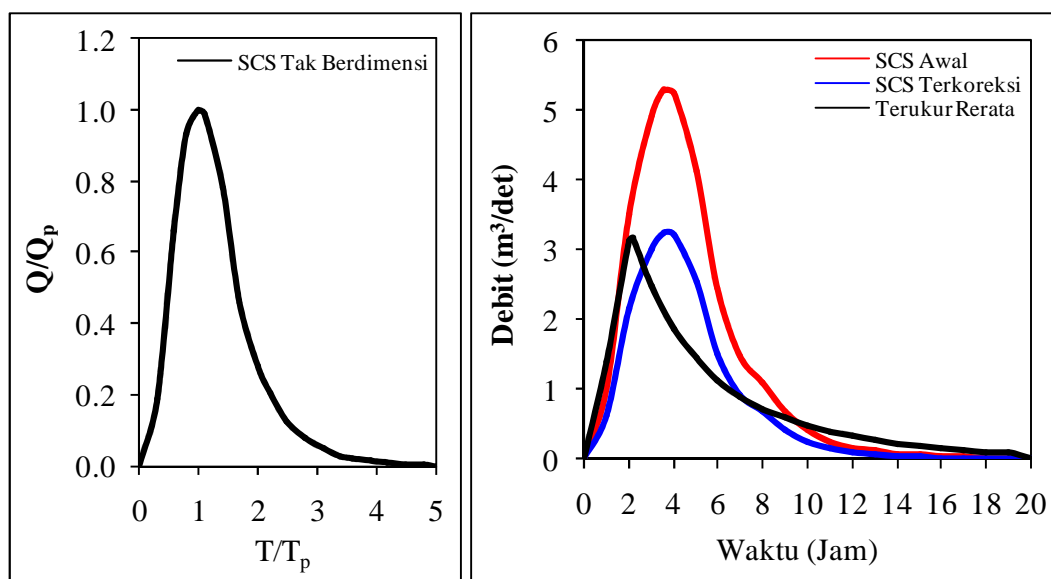
No	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.20	0.10	0.36	1308.47	0.24	852.88
3	0.20	0.10	2	0.40	0.31	1.13	4056.25	0.73	2643.94
4	0.30	0.19	4	0.60	0.66	2.40	8635.89	1.56	5629.03
5	0.40	0.31	4	0.80	0.93	3.38	12168.75	2.20	7931.82
6	0.50	0.47	5	1.00	1.00	3.63	13084.68	2.37	8528.84
7	0.60	0.66	5.01	1.00	1.00	3.63	13084.68	2.37	8528.84
8	0.70	0.82	6	1.20	0.93	3.38	12168.75	2.20	7931.82
9	0.80	0.93	7	1.40	0.78	2.84	10206.05	1.85	6652.49
10	0.90	0.99	8	1.60	0.56	2.04	7327.42	1.33	4776.15
11	1.00	1.00	9	1.80	0.39	1.42	5103.02	0.92	3326.25
12	1.10	0.99	10	2.00	0.28	1.02	3663.71	0.66	2388.07
13	1.20	0.93	11	2.20	0.21	0.75	2708.53	0.49	1765.47
14	1.30	0.86	12	2.40	0.15	0.53	1923.45	0.35	1253.74
15	1.40	0.78	13	2.60	0.11	0.39	1400.06	0.25	912.59
16	1.50	0.68	14	2.80	0.08	0.28	1007.52	0.18	656.72
17	1.60	0.56	15	3.00	0.06	0.20	719.66	0.13	469.09
18	1.70	0.46	16	3.20	0.04	0.15	523.39	0.09	341.15
19	1.80	0.39	17	3.40	0.03	0.11	379.46	0.07	247.34
20	1.90	0.33	18	3.60	0.02	0.08	274.78	0.05	179.11
21	1.95	0.31	19	3.80	0.02	0.05	196.27	0.04	127.93
22	2.00	0.28	20	4.00	0.01	0.04	143.93	0.03	93.82
23	2.10	0.24	21	4.20	0.01	0.04	143.93	0.03	93.82
Jumlah Volume (m ³)						100503.40		65510.00	
Luas DAS (m ²)						65510000.00		65510000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.53		1.00	



Gambar C3-3 HSS SCS DAS Toaya

Tabel C3-4 HSS SCS DAS Bangga

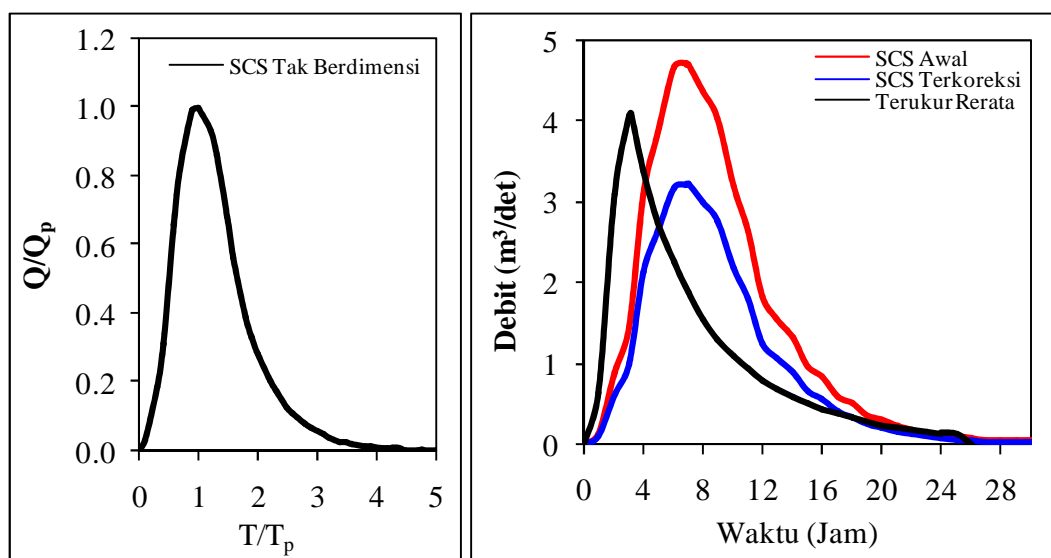
No	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.30	0.19	1.01	3621.97	0.62	2221.36
3	0.20	0.10	2	0.60	0.66	3.49	12581.57	2.14	7716.31
4	0.30	0.19	3	0.80	0.93	4.92	17728.58	3.02	10872.99
5	0.40	0.31	3.58	1.00	1.00	5.30	19062.99	3.25	11691.38
6	0.50	0.47	4	1.10	0.99	5.24	18872.36	3.22	11574.47
7	0.60	0.66	5	1.40	0.78	4.13	14869.13	2.53	9119.28
8	0.70	0.82	6	1.70	0.46	2.44	8768.97	1.49	5378.04
9	0.80	0.93	7	2.00	0.28	1.48	5337.64	0.91	3273.59
10	0.90	0.99	8	2.20	0.21	1.10	3946.04	0.67	2420.12
11	1.00	1.00	9	2.50	0.13	0.67	2421.00	0.41	1484.81
12	1.10	0.99	10	2.80	0.08	0.41	1467.85	0.25	900.24
13	1.20	0.93	11	3.10	0.05	0.25	905.49	0.15	555.34
14	1.30	0.86	12	3.40	0.03	0.15	552.83	0.09	339.05
15	1.40	0.78	13	3.60	0.02	0.11	400.32	0.07	245.52
16	1.50	0.68	14	3.90	0.01	0.07	247.82	0.04	151.99
17	1.60	0.56	15	4.20	0.01	0.06	209.69	0.04	128.61
18	1.70	0.46	16	4.50	0.01	0.03	95.31	0.02	58.46
19	1.80	0.39	17	4.80	0.01	0.03	95.31	0.02	58.46
20	1.90	0.33	18	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	1.95	0.31	19	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.00	0.28	20	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	2.10	0.24	21	5.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)						111184.88		68190.00	
Luas DAS (m ²)						68190000.00		68190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.63		1.00	



Gambar C3-4 HSS SCS DAS Bangga

Tabel C3–.5 HSS SCS DAS Singkoyo

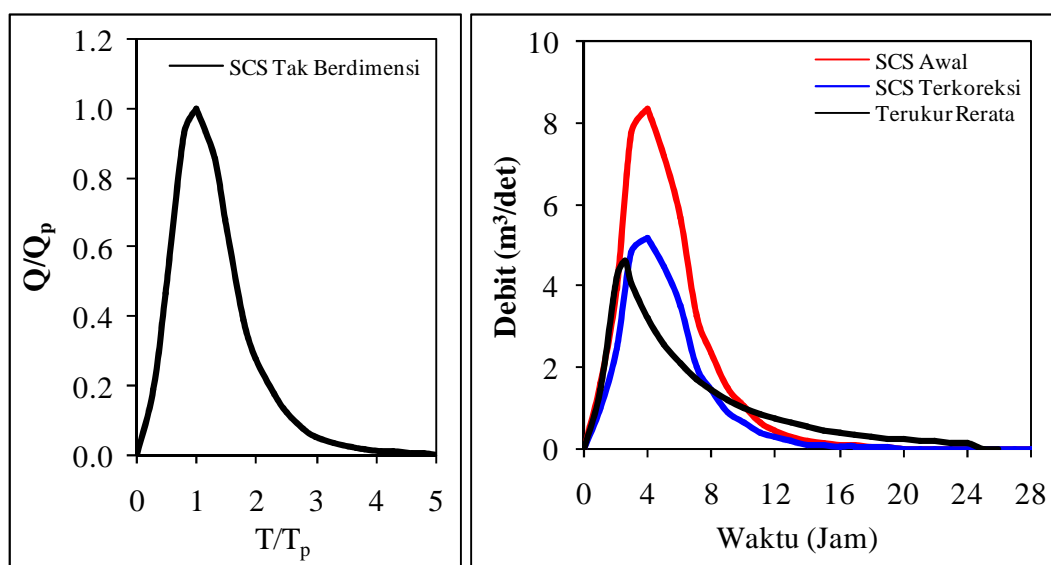
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.10	0.03	0.14	507.93	0.10	347.13
3	0.20	0.10	2	0.30	0.19	0.89	3216.89	0.61	2198.46
4	0.30	0.19	3	0.40	0.31	1.46	5248.61	1.00	3586.97
5	0.40	0.31	4	0.60	0.66	3.10	11174.45	2.12	7636.77
6	0.50	0.47	5	0.70	0.82	3.86	13883.41	2.64	9488.11
7	0.60	0.66	6	0.90	0.99	4.66	16761.68	3.18	11455.16
8	0.70	0.82	6.82	1.00	1.00	4.70	16930.99	3.21	11570.87
9	0.80	0.93	7	1.00	1.00	4.70	16930.99	3.21	11570.87
10	0.90	0.99	8	1.20	0.93	4.37	15745.82	2.99	10760.91
11	1.00	1.00	9	1.30	0.86	4.04	14560.65	2.76	9950.94
12	1.10	0.99	10	1.50	0.68	3.20	11513.07	2.19	7868.19
13	1.20	0.93	11	1.60	0.56	2.63	9481.36	1.80	6479.68
14	1.30	0.86	12	1.80	0.39	1.83	6603.09	1.25	4512.64
15	1.40	0.78	13	1.90	0.33	1.55	5587.23	1.06	3818.39
16	1.50	0.68	14	2.00	0.28	1.32	4740.68	0.90	3239.84
17	1.60	0.56	15	2.20	0.21	0.97	3504.72	0.67	2395.17
18	1.70	0.46	16	2.30	0.18	0.83	2996.79	0.57	2048.04
19	1.80	0.39	17	2.50	0.13	0.60	2150.24	0.41	1469.50
20	1.90	0.33	18	2.60	0.11	0.50	1811.62	0.34	1238.08
21	1.95	0.31	19	2.80	0.08	0.36	1303.69	0.25	890.96
22	2.00	0.28	20	2.90	0.07	0.31	1117.45	0.21	763.68
23	2.10	0.24	21	3.10	0.05	0.22	804.22	0.15	549.62
Jumlah Volume (m ³)						169809.38		116050.00	
Luas DAS (m ²)						116050000.00		116050000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.46		1.00	



Gambar C3–5 HSS SCS DAS Singkoyo

Tabel C3-6 HSS SCS DAS Tambun

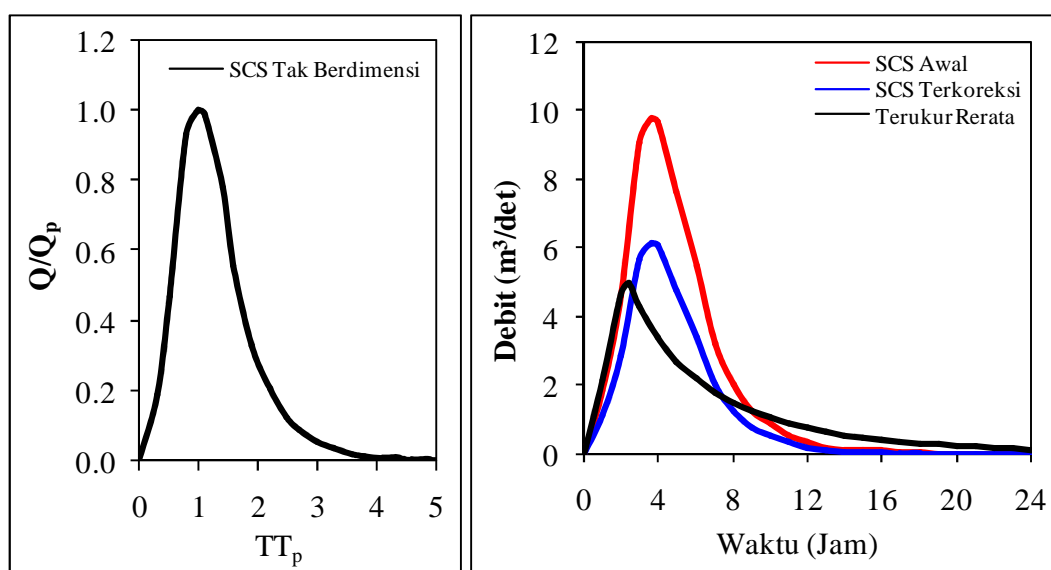
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.30	0.19	1.58	5701.52	0.98	3542.81
3	0.20	0.10	2	0.50	0.47	3.92	14103.76	2.43	8763.79
4	0.30	0.19	3	0.80	0.93	7.75	27907.43	4.82	17341.12
5	0.40	0.31	3.94	1.00	1.00	8.34	30007.99	5.18	18646.37
6	0.50	0.47	4	1.00	1.00	8.34	30007.99	5.18	18646.37
7	0.60	0.66	5	1.30	0.86	7.17	25806.87	4.45	16035.88
8	0.70	0.82	6	1.50	0.68	5.67	20405.43	3.52	12679.53
9	0.80	0.93	7	1.80	0.39	3.25	11703.12	2.02	7272.08
10	0.90	0.99	8	2.00	0.28	2.33	8402.24	1.45	5220.98
11	1.00	1.00	9	2.30	0.18	1.48	5311.41	0.92	3300.41
12	1.10	0.99	10	2.50	0.13	1.06	3811.01	0.66	2368.09
13	1.20	0.93	11	2.80	0.08	0.64	2310.62	0.40	1435.77
14	1.30	0.86	12	3.00	0.06	0.46	1650.44	0.28	1025.55
15	1.40	0.78	13	3.30	0.03	0.29	1035.28	0.18	643.30
16	1.50	0.68	14	3.60	0.02	0.18	630.17	0.11	391.57
17	1.60	0.56	15	3.80	0.02	0.13	450.12	0.08	279.70
18	1.70	0.46	16	4.10	0.01	0.09	330.09	0.06	205.11
19	1.80	0.39	17	4.30	0.01	0.09	330.09	0.06	205.11
20	1.90	0.33	18	4.60	0.01	0.04	150.04	0.03	93.23
21	1.95	0.31	19	4.80	0.01	0.04	150.04	0.03	93.23
22	2.00	0.28	20	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	2.10	0.24	21	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)						190205.64		118190.00	
Luas DAS (m ²)						118190000.00		118190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.61		1.00	



Gambar C3-6 HSS SCS DAS Tambun

Tabel C3-7 HSS SCS DAS Malino

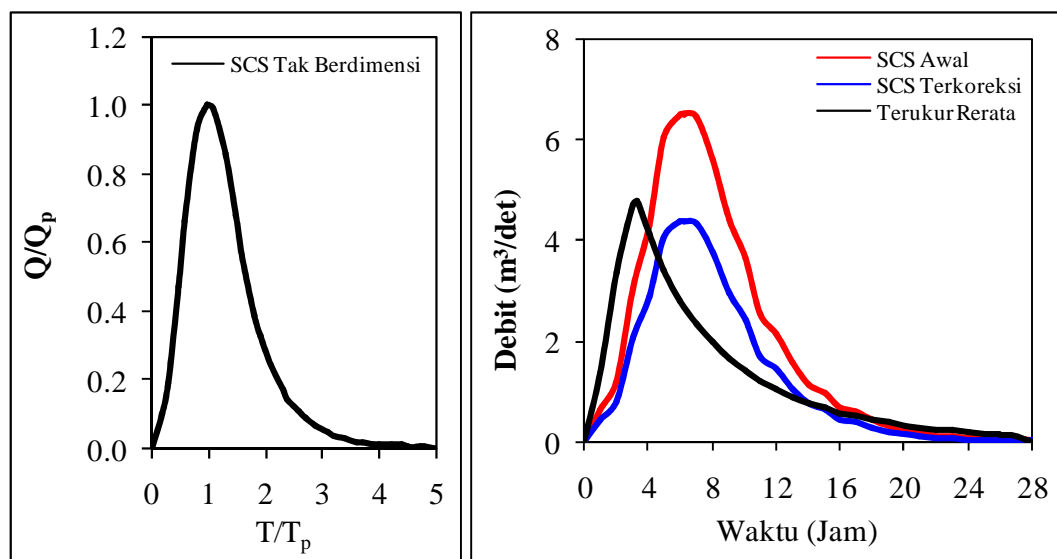
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.30	0.19	1.86	6681.06	1.16	4193.45
3	0.20	0.10	2	0.50	0.47	4.59	16526.83	2.88	10373.28
4	0.30	0.19	3	0.80	0.93	9.08	32702.03	5.70	20525.84
5	0.40	0.31	3.66	1.00	1.00	9.77	35163.47	6.13	22070.80
6	0.50	0.47	4	1.10	0.99	9.67	34811.84	6.07	21850.09
7	0.60	0.66	5	1.40	0.78	7.62	27427.51	4.78	17215.22
8	0.70	0.82	6	1.60	0.56	5.47	19691.54	3.43	12359.65
9	0.80	0.93	7	1.90	0.33	3.22	11603.95	2.02	7283.36
10	0.90	0.99	8	2.20	0.21	2.02	7278.84	1.27	4568.66
11	1.00	1.00	9	2.50	0.13	1.24	4465.76	0.78	2802.99
12	1.10	0.99	10	2.70	0.09	0.90	3235.04	0.56	2030.51
13	1.20	0.93	11	3.00	0.06	0.54	1933.99	0.34	1213.89
14	1.30	0.86	12	3.30	0.03	0.34	1213.14	0.21	761.44
15	1.40	0.78	13	3.60	0.02	0.21	738.43	0.13	463.49
16	1.50	0.68	14	3.80	0.02	0.15	527.45	0.09	331.06
17	1.60	0.56	15	4.10	0.01	0.11	386.80	0.07	242.78
18	1.70	0.46	16	4.40	0.01	0.11	386.80	0.07	242.78
19	1.80	0.39	17	4.60	0.01	0.05	175.82	0.03	110.35
20	1.90	0.33	18	4.90	0.01	0.05	175.82	0.03	110.35
21	1.95	0.31	19	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	2.00	0.28	20	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	2.10	0.24	21	5.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)						205126.10		128750.00	
Luas DAS (m ²)						128750000.00		128750000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.59		1.00	



Gambar C3-7 HSS SCS DAS Malino

Tabel C3–.8 HSS SCS DAS Bunta

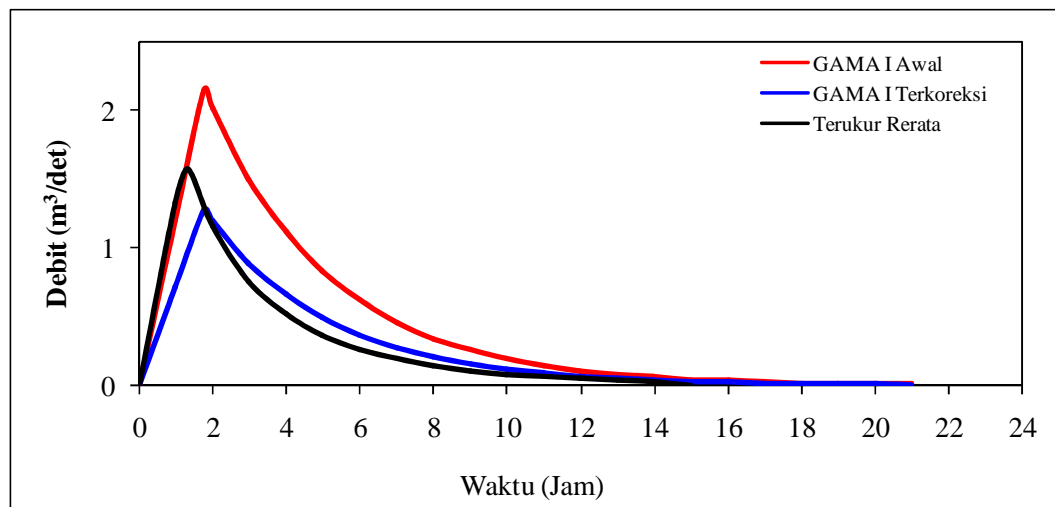
No.	Rasio Waktu t	Rasio Debit q	Waktu T (Jam)	T/T_p	Q/Q_p	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi (m ³ /det)	Volume Koreksi (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.03	1	0.20	0.10	0.65	2338.97	0.44	1571.61
3	0.20	0.10	2	0.30	0.19	1.23	4444.04	0.83	2986.07
4	0.30	0.19	3	0.50	0.47	3.05	10993.14	2.05	7386.59
5	0.40	0.31	4	0.60	0.66	4.29	15437.17	2.88	10372.66
6	0.50	0.47	5	0.80	0.93	6.04	21752.38	4.06	14616.02
7	0.60	0.66	6	1.00	1.00	6.50	23389.66	4.37	15716.15
8	0.70	0.82	6.19	1.00	1.00	6.50	23389.66	4.37	15716.15
9	0.80	0.93	7	1.10	0.99	6.43	23155.76	4.32	15558.99
10	0.90	0.99	8	1.30	0.86	5.59	20115.11	3.75	13515.89
11	1.00	1.00	9	1.50	0.68	4.42	15904.97	2.97	10686.98
12	1.10	0.99	10	1.60	0.56	3.64	13098.21	2.44	8801.04
13	1.20	0.93	11	1.80	0.39	2.53	9121.97	1.70	6129.30
14	1.30	0.86	12	1.90	0.33	2.14	7718.59	1.44	5186.33
15	1.40	0.78	13	2.10	0.24	1.58	5695.38	1.06	3826.88
16	1.50	0.68	14	2.30	0.18	1.15	4139.97	0.77	2781.76
17	1.60	0.56	15	2.40	0.15	0.96	3438.28	0.64	2310.27
18	1.70	0.46	16	2.60	0.11	0.70	2502.69	0.47	1681.63
19	1.80	0.39	17	2.70	0.09	0.60	2151.85	0.40	1445.89
20	1.90	0.33	18	2.90	0.07	0.43	1543.72	0.29	1037.27
21	1.95	0.31	19	3.10	0.05	0.31	1111.01	0.21	746.52
22	2.00	0.28	20	3.20	0.04	0.26	935.59	0.17	628.65
23	2.10	0.24	21	3.40	0.03	0.19	678.30	0.13	455.77
Jumlah Volume (m ³)						215395.36		144730.00	
Luas DAS (m ²)						144730000.00		144730000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.49		1.00	



Gambar C3–8 HSS SCS DAS Bunta

Tabel C4-1 HSS GAMA I DAS Bahomoleo

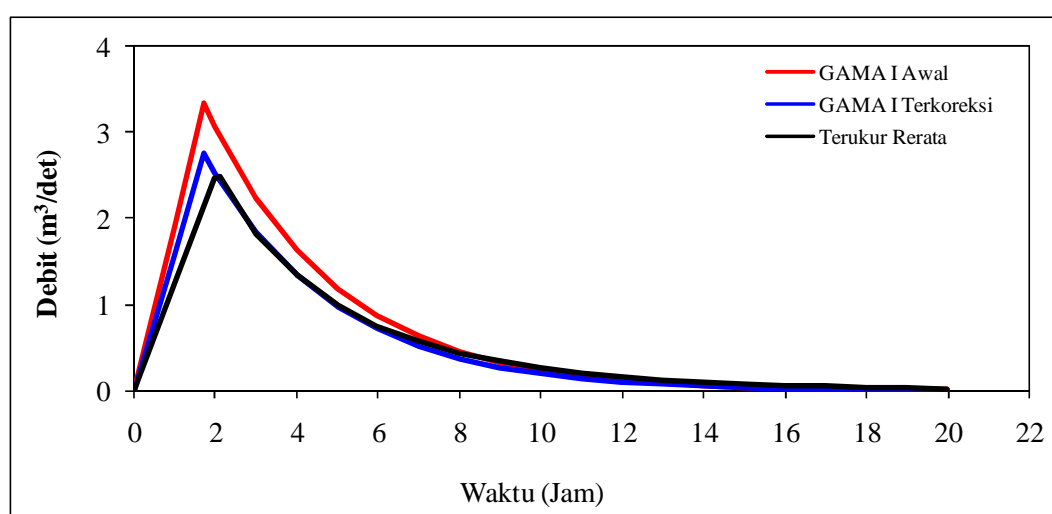
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.20	4320.74	0.71	2556.33
3	1.79	2.15	7732.95	1.27	4575.14
4	2	2.02	7266.75	1.19	4299.31
5	3	1.50	5406.43	0.89	3198.67
6	4	1.12	4022.35	0.66	2379.79
7	5	0.83	2992.61	0.49	1770.56
8	6	0.62	2226.49	0.37	1317.28
9	7	0.46	1656.50	0.27	980.05
10	8	0.34	1232.43	0.20	729.15
11	9	0.25	916.92	0.15	542.49
12	10	0.19	682.18	0.11	403.61
13	11	0.14	507.54	0.08	300.28
14	12	0.10	377.61	0.06	223.41
15	13	0.08	280.94	0.05	166.22
16	14	0.06	209.02	0.03	123.66
17	15	0.04	155.51	0.03	92.00
18	16	0.03	115.70	0.02	68.45
19	17	0.02	86.08	0.01	50.93
20	18	0.02	64.04	0.01	37.89
21	19	0.01	47.65	0.01	28.19
22	20	0.01	35.45	0.01	20.97
23	21	0.01	26.37	0.00	15.60
24	21.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			40362.24		23880.00
Luas DAS (m^2)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.69		1.00



Gambar C4-1 HSS GAMA I DAS Bahomoleo

Tabel C4-2 HSS GAMA I DAS Pinamula

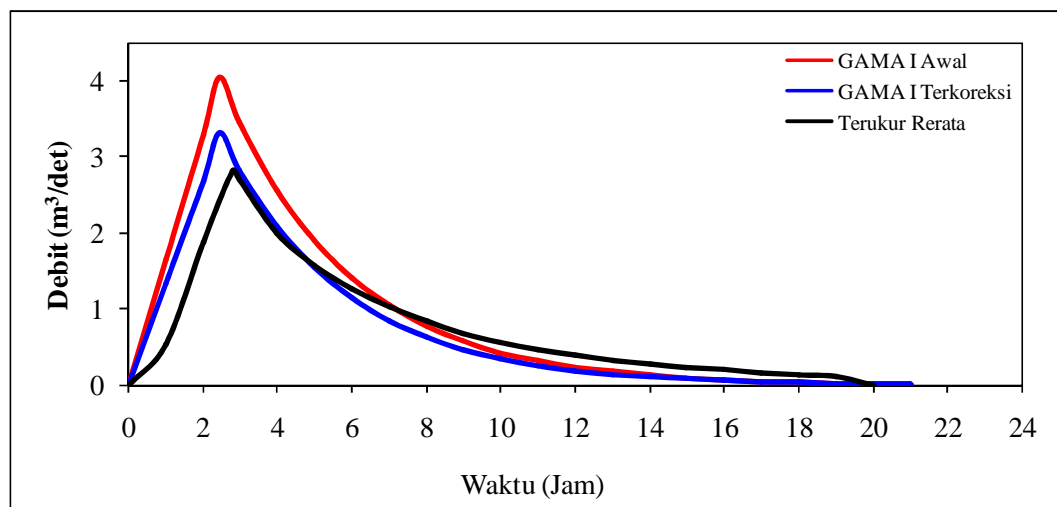
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.93	6936.49	1.59	5735.31
3	1.73	3.34	12012.47	2.76	9932.28
4	2	3.07	11038.87	2.54	9127.28
5	3	2.24	8055.06	1.85	6660.17
6	4	1.63	5877.78	1.35	4859.93
7	5	1.19	4289.01	0.99	3546.29
8	6	0.87	3129.69	0.72	2587.72
9	7	0.63	2283.73	0.52	1888.26
10	8	0.46	1666.44	0.38	1377.86
11	9	0.34	1216.00	0.28	1005.43
12	10	0.25	887.32	0.20	733.66
13	11	0.18	647.47	0.15	535.35
14	12	0.13	472.46	0.11	390.65
15	13	0.10	344.75	0.08	285.05
16	14	0.07	251.57	0.06	208.00
17	15	0.05	183.57	0.04	151.78
18	16	0.04	133.95	0.03	110.75
19	17	0.03	97.74	0.02	80.82
20	18	0.02	71.32	0.02	58.97
21	19	0.01	52.04	0.01	43.03
22	20	0.01	37.98	0.01	31.40
23	20.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			59685.74		49350.00
Luas DAS (m^2)			49350000.00		49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.21		1.00



Gambar C4-2 HSS GAMA I DAS Pinamula

Tabel C4-3 HSS GAMA I DAS Toaya

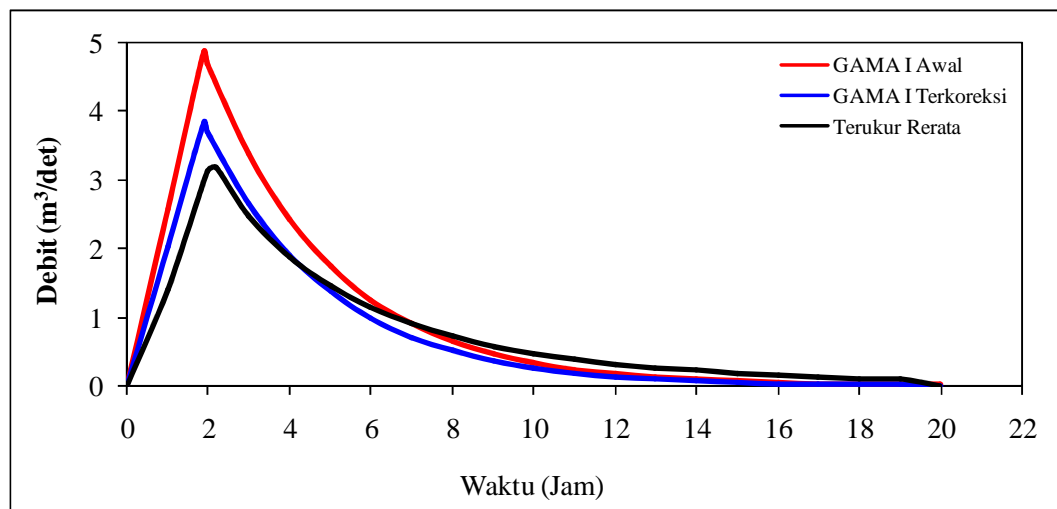
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.65	5923.55	1.34	4835.00
3	2	3.29	11847.10	2.69	9670.00
4	2.46	4.05	14588.82	3.31	11907.89
5	3	3.45	12423.78	2.82	10140.71
6	4	2.56	9212.37	2.09	7519.45
7	5	1.90	6831.07	1.55	5575.75
8	6	1.41	5065.32	1.15	4134.48
9	7	1.04	3755.99	0.85	3065.76
10	8	0.77	2785.10	0.63	2273.30
11	9	0.57	2065.19	0.47	1685.67
12	10	0.43	1531.36	0.35	1249.95
13	11	0.32	1135.52	0.26	926.85
14	12	0.23	842.00	0.19	687.27
15	13	0.17	624.35	0.14	509.62
16	14	0.13	462.96	0.10	377.89
17	15	0.10	343.29	0.08	280.21
18	16	0.07	254.56	0.06	207.78
19	17	0.05	188.76	0.04	154.07
20	18	0.04	139.96	0.03	114.24
21	19	0.03	103.78	0.02	84.71
22	20	0.02	76.96	0.02	62.82
23	21	0.02	57.06	0.01	46.58
24	21.51	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			80258.85		65510.00
Luas DAS (m^2)			65510000.00		65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.23		1.00



Gambar C4-3 HSS GAMA I DAS Toaya

Tabel C4-4 HSS GAMA I DAS Bangsa

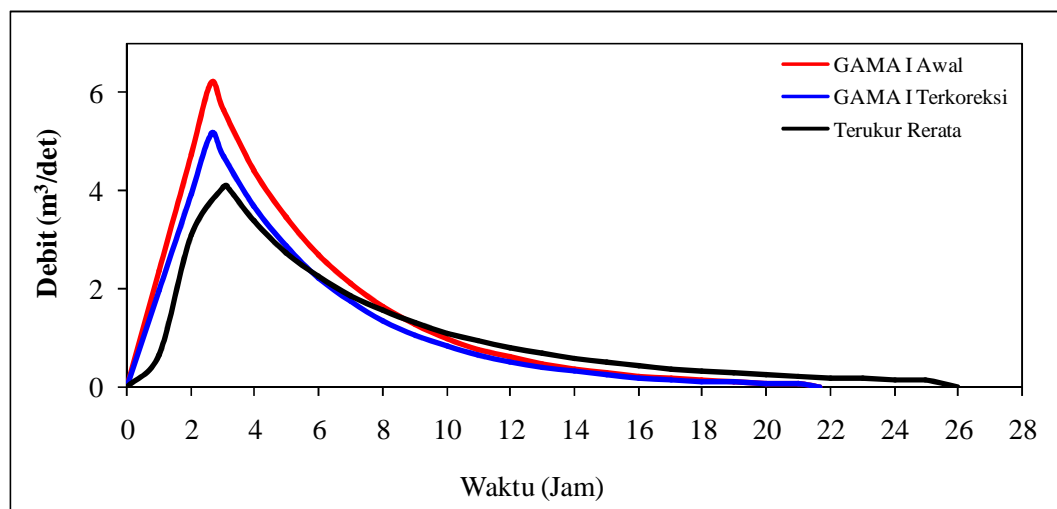
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2.57	9245.13	2.02	7272.74
3	1.89	4.86	17494.35	3.82	13762.04
4	2	4.69	16883.28	3.69	13281.33
5	3	3.37	12137.07	2.65	9547.70
6	4	2.42	8725.11	1.91	6863.66
7	5	1.74	6272.32	1.37	4934.15
8	6	1.25	4509.05	0.99	3547.07
9	7	0.90	3241.47	0.71	2549.92
10	8	0.65	2330.23	0.51	1833.09
11	9	0.47	1675.16	0.37	1317.77
12	10	0.33	1204.24	0.26	947.32
13	11	0.24	865.71	0.19	681.01
14	12	0.17	622.34	0.14	489.57
15	13	0.12	447.39	0.10	351.94
16	14	0.09	321.62	0.07	253.00
17	15	0.06	231.21	0.05	181.88
18	16	0.05	166.21	0.04	130.75
19	17	0.03	119.48	0.03	93.99
20	18	0.02	85.90	0.02	67.57
21	19	0.02	61.75	0.01	48.57
22	20	0.01	44.39	0.01	34.92
23	20.26	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			86683.39		68190.00
Luas DAS (m ²)			68190000.00		68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.27		1.00



Gambar C4-4 HSS GAMA I DAS Bangsa

Tabel C4-5 HSS GAMA I DAS Singkoyo

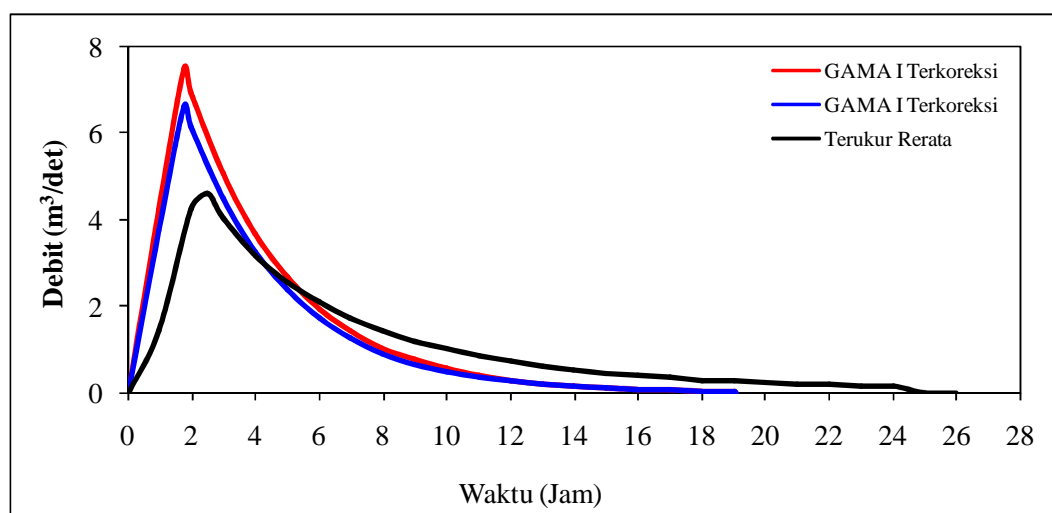
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2.36	8490.38	1.96	7057.36
3	2	4.72	16980.77	3.92	14114.73
4	2.63	6.20	22310.23	5.15	18544.68
5	3	5.65	20343.63	4.70	16910.00
6	4	4.41	15877.54	3.67	13197.70
7	5	3.44	12391.90	2.86	10300.38
8	6	2.69	9671.47	2.23	8039.11
9	7	2.10	7548.27	1.74	6274.26
10	8	1.64	5891.18	1.36	4896.86
11	9	1.28	4597.87	1.06	3821.84
12	10	1.00	3588.49	0.83	2982.82
13	11	0.78	2800.70	0.65	2327.99
14	12	0.61	2185.85	0.50	1816.92
15	13	0.47	1705.99	0.39	1418.05
16	14	0.37	1331.47	0.31	1106.74
17	15	0.29	1039.17	0.24	863.77
18	16	0.23	811.04	0.19	674.15
19	17	0.18	632.99	0.15	526.15
20	18	0.14	494.03	0.11	410.64
21	19	0.11	385.57	0.09	320.49
22	20	0.08	300.93	0.07	250.13
23	21	0.07	234.86	0.05	195.22
24	21.99	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			139614.32		116050.00
Luas DAS (m^2)			116050000.00		116050000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.20		1.00



Gambar C4-5 HSS GAMA I DAS Singkoyo

Tabel C4-6 HSS GAMA I DAS Tambun

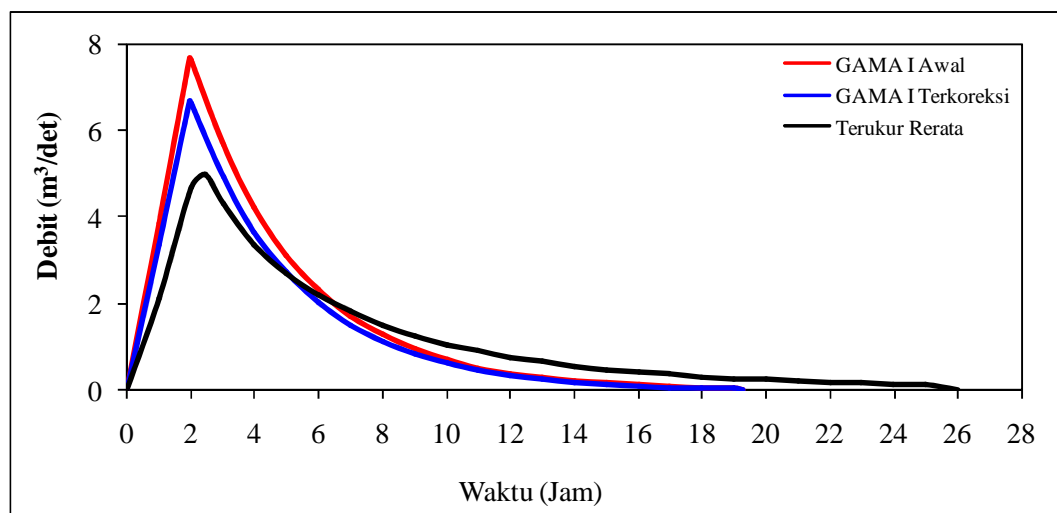
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	4.23	15216.78	3.74	13459.93
3	1.77	7.47	26900.54	6.61	23794.73
4	2	6.94	24987.56	6.14	22102.62
5	3	5.05	18186.12	4.47	16086.44
6	4	3.68	13235.98	3.25	11707.82
7	5	2.68	9633.23	2.37	8521.03
8	6	1.95	7011.13	1.72	6201.66
9	7	1.42	5102.75	1.25	4513.61
10	8	1.03	3713.81	0.91	3285.04
11	9	0.75	2702.94	0.66	2390.87
12	10	0.55	1967.22	0.48	1740.09
13	11	0.40	1431.75	0.35	1266.45
14	12	0.29	1042.04	0.26	921.73
15	13	0.21	758.40	0.19	670.84
16	14	0.15	551.97	0.14	488.24
17	15	0.11	401.73	0.10	355.35
18	16	0.08	292.38	0.07	258.62
19	17	0.06	212.80	0.05	188.23
20	18	0.04	154.87	0.04	136.99
21	19	0.03	112.72	0.03	99.70
22	19.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			133616.73		118190.00
Luas DAS (m^2)			118190000.00		118190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.13		1.00



Gambar C4-6 HSS GAMA I DAS Tambun

Tabel C4-7 HSS GAMA I DAS Malino

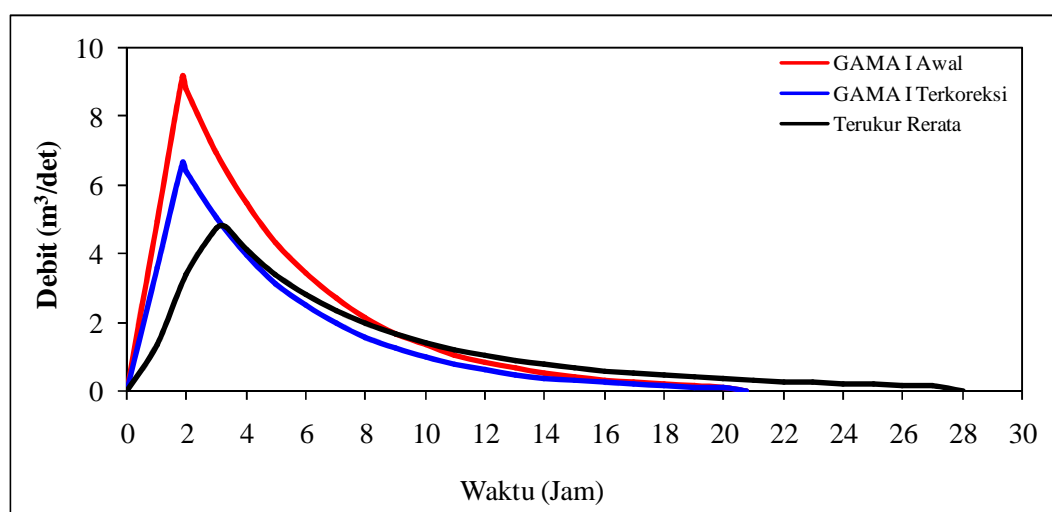
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	3.87	13945.48	3.37	12133.32
3	1.98	7.68	27630.85	6.68	24040.33
4	2	7.63	27478.17	6.64	23907.49
5	3	5.67	20415.81	4.93	17762.86
6	4	4.21	15168.60	3.67	13197.51
7	5	3.13	11270.02	2.72	9805.52
8	6	2.33	8373.43	2.02	7285.34
9	7	1.73	6221.32	1.50	5412.88
10	8	1.28	4622.33	1.12	4021.68
11	9	0.95	3434.32	0.83	2988.04
12	10	0.71	2551.64	0.62	2220.06
13	11	0.53	1895.82	0.46	1649.47
14	12	0.39	1408.57	0.34	1225.53
15	13	0.29	1046.54	0.25	910.55
16	14	0.22	777.56	0.19	676.52
17	15	0.16	577.72	0.14	502.64
18	16	0.12	429.23	0.10	373.46
19	17	0.09	318.91	0.08	277.47
20	18	0.07	236.95	0.06	206.16
21	19	0.05	176.05	0.04	153.17
22	19.57	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			147979.30		128750.00
Luas DAS (m^2)			128750000.00		128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.15		1.00



Gambar C4-7 HSS GAMA I DAS Malino

Tabel C4–8 HSS GAMA I DAS Bunta

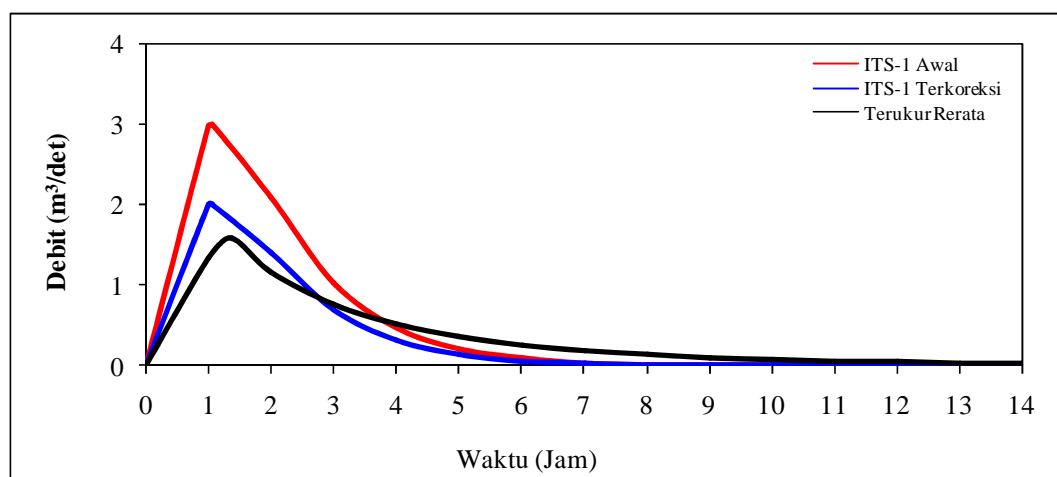
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	4.96	17844.48	3.61	12986.19
3	1.84	9.11	32794.22	6.63	23865.76
4	2	8.77	31560.50	6.38	22967.93
5	3	6.92	24916.37	5.04	18132.71
6	4	5.46	19670.97	3.98	14315.40
7	5	4.31	15529.83	3.14	11301.72
8	6	3.41	12260.48	2.48	8922.48
9	7	2.69	9679.40	1.96	7044.11
10	8	2.12	7641.69	1.54	5561.18
11	9	1.68	6032.96	1.22	4390.44
12	10	1.32	4762.90	0.96	3466.16
13	11	1.04	3760.21	0.76	2736.47
14	12	0.82	2968.61	0.60	2160.38
15	13	0.65	2343.66	0.47	1705.58
16	14	0.51	1850.27	0.37	1346.52
17	15	0.41	1460.75	0.30	1063.05
18	16	0.32	1153.23	0.23	839.26
19	17	0.25	910.45	0.18	662.58
20	18	0.20	718.78	0.15	523.09
21	19	0.16	567.47	0.11	412.97
22	20	0.12	448.00	0.09	326.03
23	20.96	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			198875.21		144730.00
Luas DAS (m^2)			144730000.00		144730000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.37		1.00



Gambar C4–8 HSS GAMA I DAS Bunta

Tabel C5-1 HSS ITS-1 DAS Bahomoleo

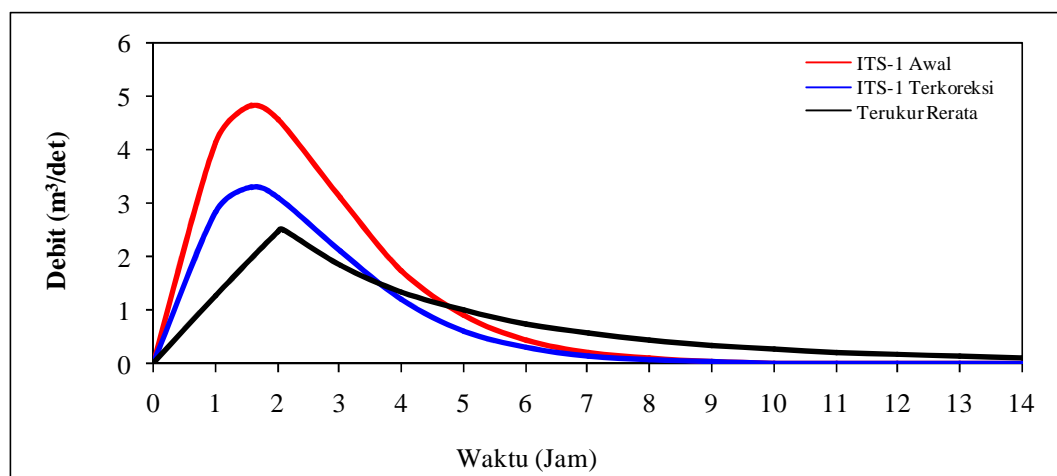
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2.98	10718.78	2.00	7187.85
3	1.05	2.98	10738.46	2.00	7201.04
4	2	2.09	7518.72	1.40	5041.94
5	3	1.04	3727.51	0.69	2499.61
6	4	0.46	1665.30	0.31	1116.72
7	5	0.20	715.62	0.13	479.88
8	6	0.08	303.23	0.06	203.34
9	7	0.04	128.13	0.02	85.92
10	8	0.02	54.28	0.01	36.40
11	9	0.01	23.13	0.00	15.51
12	10	0.00	9.92	0.00	6.65
13	11	0.00	4.29	0.00	2.88
14	12	0.00	1.87	0.00	1.25
15	13	0.00	0.82	0.00	0.55
16	14	0.00	0.36	0.00	0.24
17	15	0.00	0.16	0.00	0.11
18	16	0.00	0.07	0.00	0.05
19	17	0.00	0.03	0.00	0.02
20	18	0.00	0.02	0.00	0.01
21	19	0.00	0.01	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			35610.72		23880.00
Luas DAS (m^2)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.49		1.00



Gambar C5-1 HSS ITS-1 DAS Bahomoleo

Tabel C5-2 HSS ITS-1 DAS Pinamula

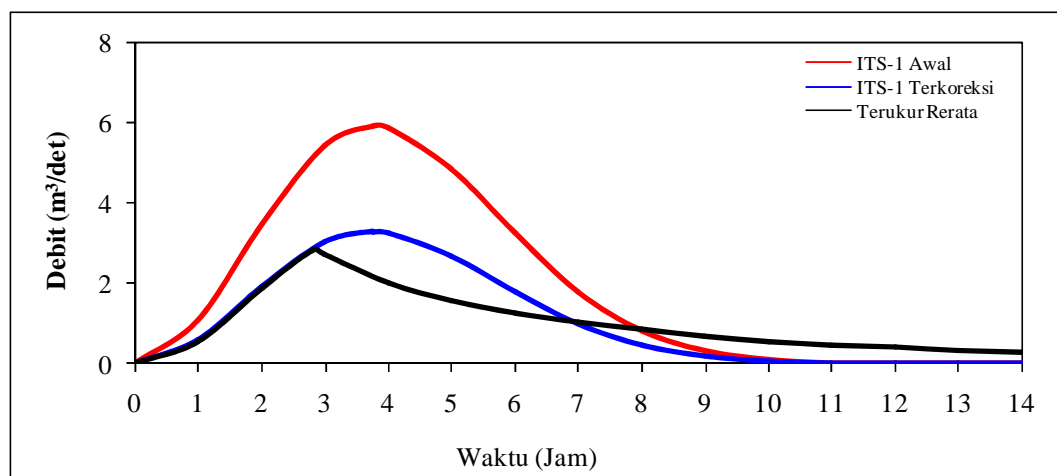
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	4.14	14889.41	2.82	10163.26
3	1.56	4.81	17332.03	3.29	11830.55
4	2	4.55	16387.68	3.11	11185.96
5	3	3.09	11111.80	2.11	7584.73
6	4	1.75	6292.87	1.19	4295.41
7	5	0.91	3258.68	0.62	2224.32
8	6	0.45	1603.40	0.30	1094.45
9	7	0.21	764.40	0.14	521.77
10	8	0.10	357.03	0.07	243.70
11	9	0.05	164.48	0.03	112.27
12	10	0.02	75.08	0.01	51.25
13	11	0.01	34.05	0.01	23.24
14	12	0.00	15.38	0.00	10.50
15	13	0.00	6.93	0.00	4.73
16	14	0.00	3.11	0.00	2.13
17	15	0.00	1.40	0.00	0.96
18	16	0.00	0.63	0.00	0.43
19	17	0.00	0.28	0.00	0.19
20	18	0.00	0.13	0.00	0.09
21	19	0.00	0.06	0.00	0.04
22	20	0.00	0.03	0.00	0.02
23	21	0.00	0.01	0.00	0.01
24	22	0.00	0.01	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			72298.87		49350.00
Luas DAS (m ²)			49350000.00		49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.47		1.00



Gambar C5-2 HSS ITS-1 DAS Pinamula

Tabel C5-3 HSS ITS-1 DAS Toaya

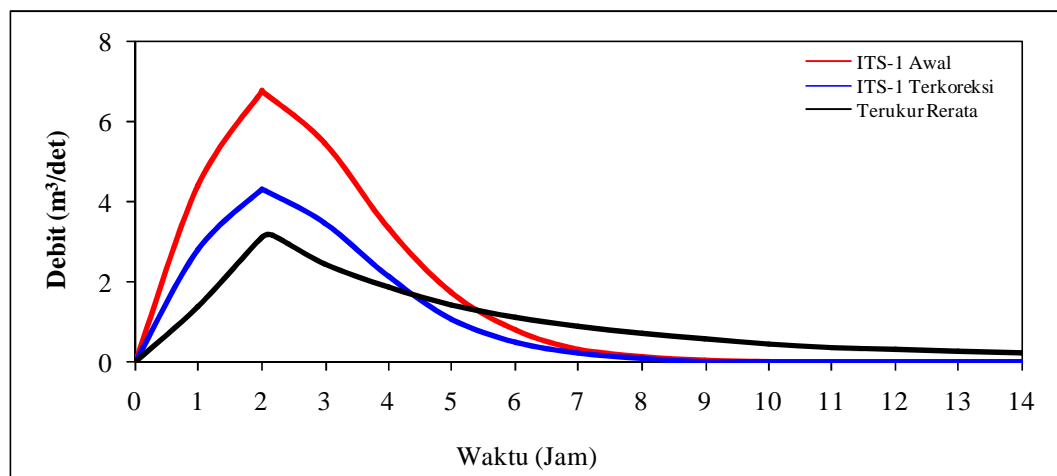
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.08	3889.37	0.60	2151.04
3	2	3.46	12472.92	1.92	6898.23
4	3.0	5.43	19555.25	3.00	10815.16
5	4	5.91	21283.57	3.27	11771.02
6	4	5.86	21101.70	3.24	11670.44
7	5	4.85	17460.33	2.68	9656.55
8	6	3.23	11630.08	1.79	6432.09
9	7	1.78	6401.96	0.98	3540.65
10	8	0.82	2959.05	0.45	1636.52
11	9	0.32	1160.46	0.18	641.80
12	10	0.11	388.95	0.06	215.11
13	11	0.03	112.01	0.02	61.95
14	12	0.01	27.82	0.00	15.39
15	13	0.00	5.98	0.00	3.31
16	14	0.00	1.12	0.00	0.62
17	15	0.00	0.18	0.00	0.10
18	16	0.00	0.03	0.00	0.01
19	17	0.00	0.00	0.00	0.00
20	18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	19	0.00	0.00	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m^3)			118450.78		65510.00
Luas DAS (m^2)			65510000.00		65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.81		1.00



Gambar C5-3 HSS ITS-1 DAS Toaya

Tabel C5-4 HSS ITS-1 DAS Bangga

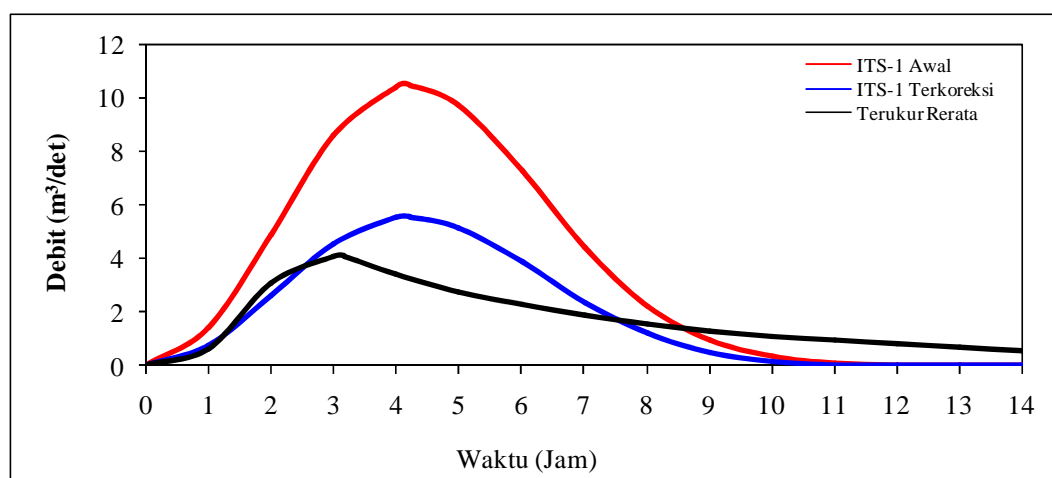
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	4.37	15740.99	2.78	10018.25
3	2	6.76	24322.58	4.30	15479.96
4	2.0	6.76	24324.04	4.30	15480.88
5	3	5.47	19703.14	3.48	12539.94
6	4	3.34	12013.14	2.12	7645.69
7	5	1.72	6199.73	1.10	3945.78
8	6	0.79	2858.83	0.51	1819.49
9	7	0.34	1213.59	0.21	772.38
10	8	0.13	483.08	0.09	307.45
11	9	0.05	182.54	0.03	116.17
12	10	0.02	66.04	0.01	42.03
13	11	0.01	23.03	0.00	14.66
14	12	0.00	7.77	0.00	4.95
15	13	0.00	2.55	0.00	1.62
16	14	0.00	0.82	0.00	0.52
17	15	0.00	0.26	0.00	0.16
18	16	0.00	0.08	0.00	0.05
19	17	0.00	0.02	0.00	0.01
20	18	0.00	0.01	0.00	0.00
21	19	0.00	0.00	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			107142.23		68190.00
Luas DAS (m ²)			68190000.00		68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.57		1.00



Gambar C5-4 HSS ITS-1 DAS Bangga

Tabel C5-5 HSS ITS-1 DAS Singkoyo

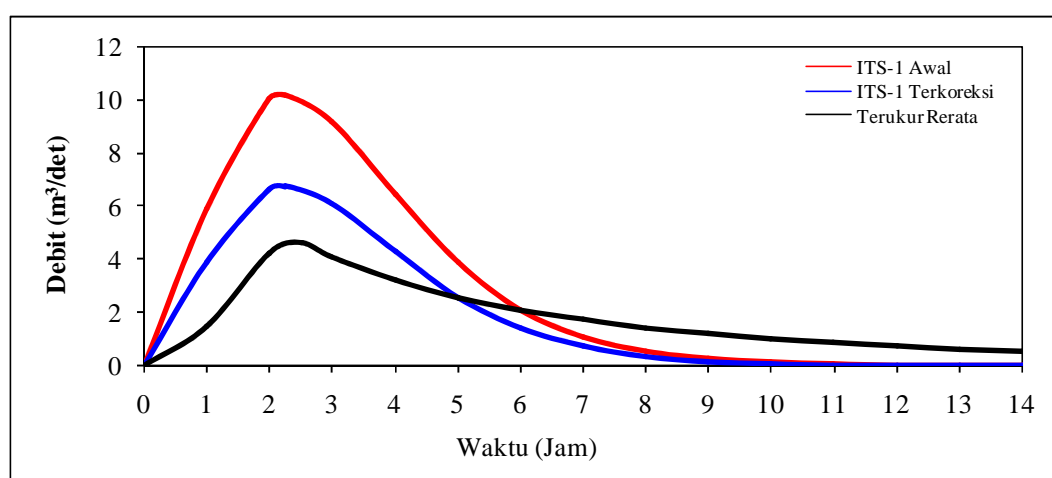
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.40	5046.78	0.74	2678.97
3	2	4.89	17615.02	2.60	9350.53
4	3.0	8.55	30791.41	4.54	16344.92
5	4	10.41	37460.06	5.52	19884.82
6	4.21	10.47	37676.82	5.56	19999.88
7	5	9.72	34996.86	5.16	18577.29
8	6	7.27	26154.27	3.86	13883.40
9	7	4.43	15946.13	2.35	8464.64
10	8	2.23	8012.88	1.18	4253.45
11	9	0.93	3336.30	0.49	1771.00
12	10	0.32	1154.11	0.17	612.63
13	11	0.09	332.05	0.05	176.26
14	12	0.02	79.47	0.01	42.19
15	13	0.00	15.81	0.00	8.39
16	14	0.00	2.61	0.00	1.39
17	15	0.00	0.36	0.00	0.19
18	16	0.00	0.04	0.00	0.02
19	17	0.00	0.00	0.00	0.00
20	18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	19	0.00	0.00	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			218621.00		116050.00
Luas DAS (m ²)			116050000.00		116050000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.88		1.00



Gambar C5-5 HSS ITS-1 DAS Singkoyo

Tabel C5-6 HSS ITS-1 DAS Tambun

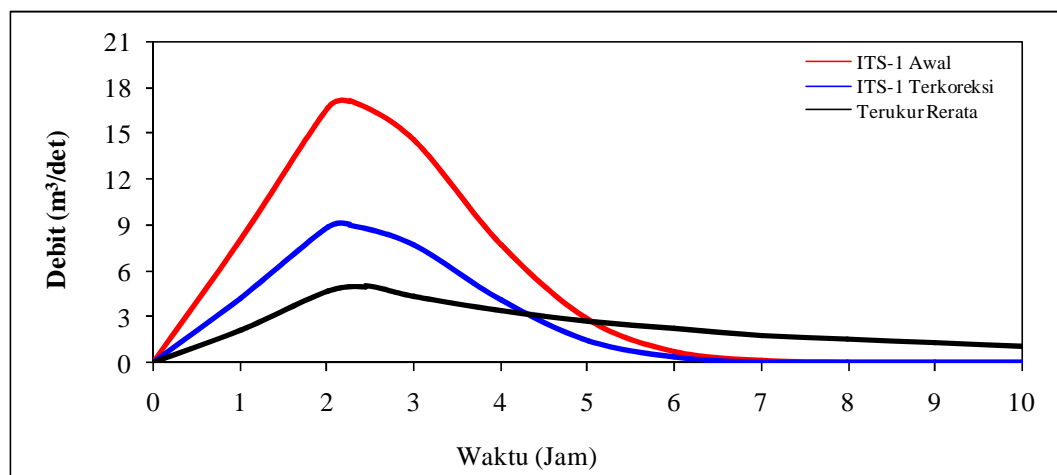
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	5.87	21146.71	3.90	14024.59
3	2	10.00	35992.43	6.63	23870.34
4	2.24	10.14	36502.40	6.72	24208.56
5	3	9.15	32928.18	6.07	21838.12
6	4	6.41	23079.45	4.25	15306.40
7	5	3.86	13885.61	2.56	9209.00
8	6	2.10	7552.35	1.39	5008.76
9	7	1.06	3819.84	0.70	2533.34
10	8	0.51	1827.84	0.34	1212.23
11	9	0.23	836.94	0.15	555.06
12	10	0.10	369.62	0.07	245.13
13	11	0.04	158.35	0.03	105.02
14	12	0.02	66.10	0.01	43.84
15	13	0.01	26.97	0.00	17.89
16	14	0.00	10.79	0.00	7.16
17	15	0.00	4.24	0.00	2.81
18	16	0.00	1.64	0.00	1.09
19	17	0.00	0.62	0.00	0.41
20	18	0.00	0.23	0.00	0.16
21	19	0.00	0.09	0.00	0.06
22	20	0.00	0.03	0.00	0.02
23	21	0.00	0.01	0.00	0.01
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			178210.46		118190.00
Luas DAS (m ²)			118190000.00		118190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.51		1.00



Gambar C5-6 HSS ITS-1 DAS Tambun

Tabel C5-7 HSS ITS-1 DAS Malino

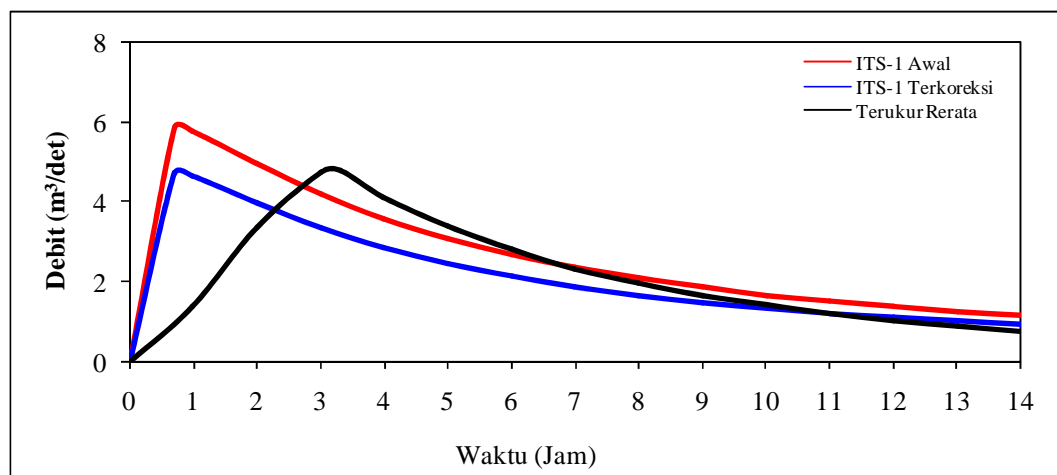
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	8.01	28844.33	4.23	15237.59
3	2	16.67	60013.92	8.81	31703.55
4	2.3	17.08	61501.14	9.02	32489.21
5	3	14.52	52273.12	7.67	27614.32
6	4	7.68	27653.20	4.06	14608.35
7	5	2.80	10086.49	1.48	5328.39
8	6	0.75	2698.97	0.40	1425.79
9	7	0.15	549.52	0.08	290.29
10	8	0.02	87.21	0.01	46.07
11	9	0.00	10.98	0.00	5.80
12	10	0.00	1.11	0.00	0.59
13	11	0.00	0.09	0.00	0.05
14	12	0.00	0.01	0.00	0.00
15	13	0.00	0.00	0.00	0.00
16	14	0.00	0.00	0.00	0.00
17	15	0.00	0.00	0.00	0.00
18	16	0.00	0.00	0.00	0.00
19	17	0.00	0.00	0.00	0.00
20	18	0.00	0.00	0.00	0.00
21	19	0.00	0.00	0.00	0.00
22	20	0.00	0.00	0.00	0.00
23	21	0.00	0.00	0.00	0.00
24	22	0.00	0.00	0.00	0.00
25	23	0.00	0.00	0.00	0.00
Jumlah Volume (m ³)			243720.10		128750.00
Luas DAS (m ²)			128750000.00		128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.89		1.00



Gambar C5-7 HSS ITS-1 DAS Malino

Tabel C5–8 HSS ITS-1 DAS Bunta

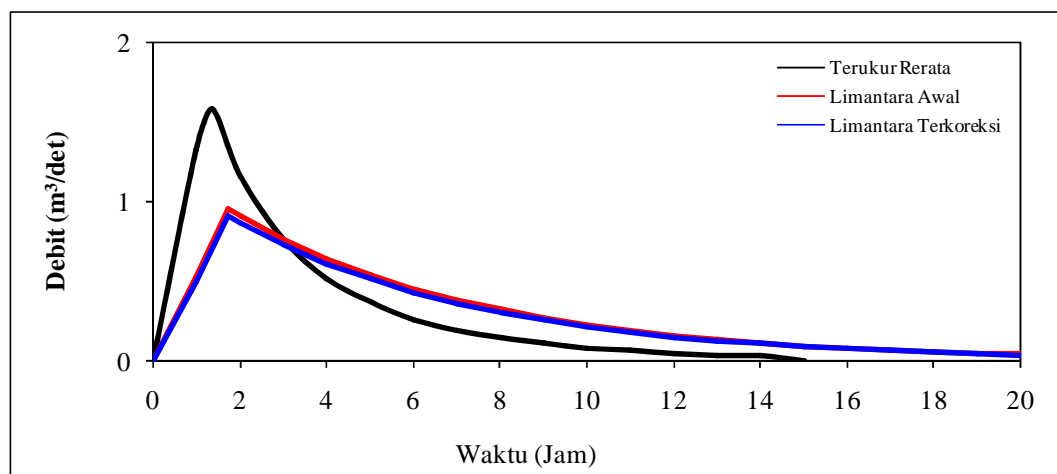
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.72	5.87	21117.19	4.72	16997.45
3	1	5.78	20811.26	4.65	16751.21
4	2	4.96	17873.42	4.00	14386.51
5	3	4.18	15057.44	3.37	12119.90
6	4	3.56	12813.72	2.86	10313.90
7	5	3.07	11039.96	2.47	8886.19
8	6	2.67	9619.02	2.15	7742.45
9	7	2.35	8462.59	1.89	6811.63
10	8	2.09	7507.45	1.68	6042.82
11	9	1.86	6708.16	1.50	5399.47
12	10	1.68	6031.61	1.35	4854.91
13	11	1.51	5453.18	1.22	4389.32
14	12	1.38	4954.27	1.11	3987.74
15	13	1.26	4520.58	1.01	3638.67
16	14	1.15	4140.97	0.93	3333.11
17	15	1.06	3806.62	0.85	3063.99
18	16	0.98	3510.49	0.78	2825.63
19	17	0.90	3246.88	0.73	2613.45
20	18	0.84	3011.13	0.67	2423.69
21	19	0.78	2799.40	0.63	2253.27
22	20	0.72	2608.52	0.58	2099.63
23	21	0.68	2435.81	0.54	1960.61
24	22	0.63	2279.04	0.51	1834.42
25	23	0.59	2136.29	0.48	1719.52
Jumlah Volume (m ³)			179808.72		144730.00
Luas DAS (m ²)			144730000.00		144730000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.24		1.00



Gambar C5–8 HSS ITS-1 DAS Bunta

Tabel C6-1 HSS Limantara DAS Bahomoleo

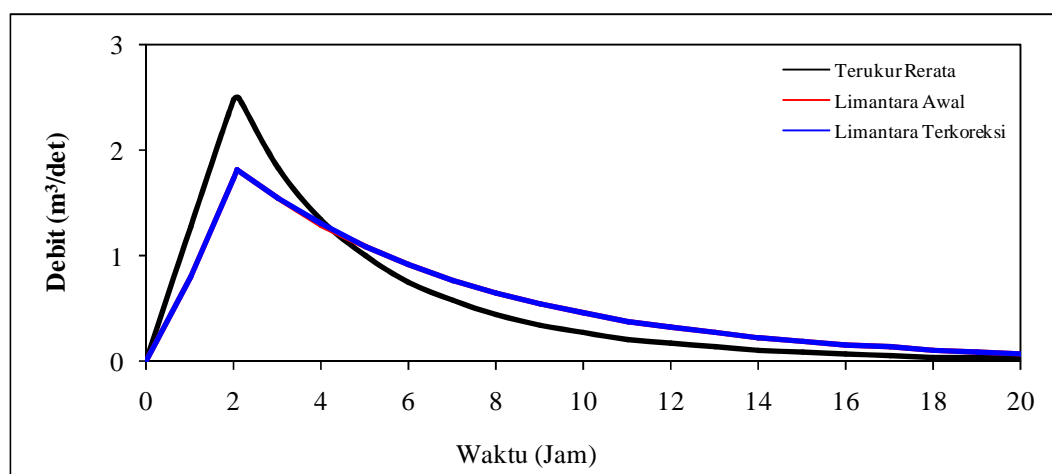
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.52	1887.43	0.50	1786.19
3	1.72	0.96	3442.52	0.90	3257.88
4	2	0.91	3278.47	0.86	3102.63
5	3	0.76	2752.13	0.72	2604.52
6	4	0.64	2310.30	0.61	2186.38
7	5	0.54	1939.40	0.51	1835.38
8	6	0.45	1628.04	0.43	1540.72
9	7	0.38	1366.67	0.36	1293.37
10	8	0.32	1147.26	0.30	1085.73
11	9	0.27	963.08	0.25	911.42
12	10	0.22	808.46	0.21	765.10
13	11	0.19	678.67	0.18	642.27
14	12	0.16	569.71	0.15	539.16
15	13	0.13	478.25	0.13	452.60
16	14	0.11	401.47	0.11	379.94
17	15	0.09	337.02	0.09	318.94
18	16	0.08	282.91	0.07	267.74
19	17	0.07	237.49	0.06	224.75
20	18	0.06	199.36	0.05	188.67
21	19	0.05	167.36	0.04	158.38
22	20	0.04	140.49	0.04	132.95
23	21	0.03	117.93	0.03	111.61
24	22	0.03	99.00	0.03	93.69
25	23	0.02	83.11	0.02	78.65
Jumlah Volume (m ³)			25233.42		23880.00
Luas DAS (m ²)			23880000.00		23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.06		1.00



Gambar C6-1 HSS Limantara DAS Bahomoleo

Tabel C6-2 HSS Limantara DAS Pinamula

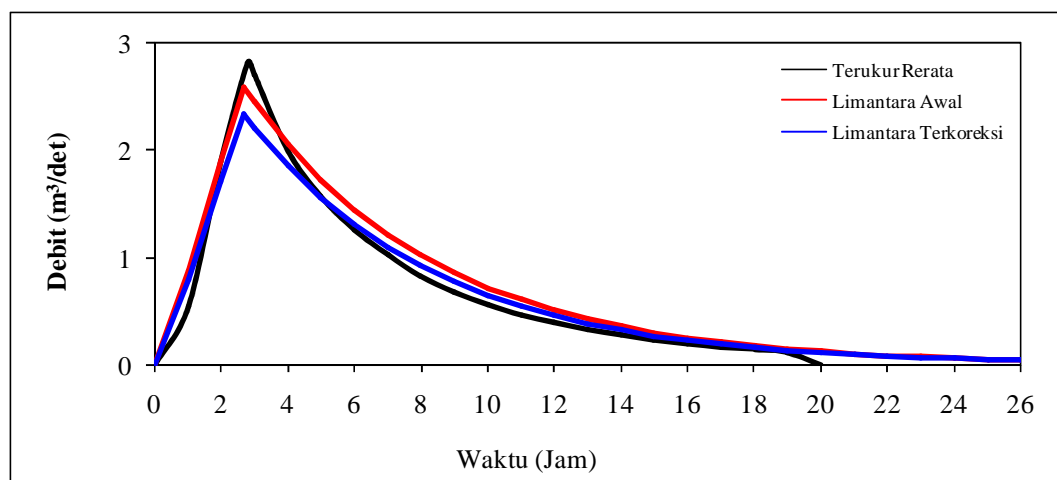
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.80	2876.52	0.80	2890.10
3	2	1.72	6195.94	1.73	6225.20
4	2.09	1.81	6508.93	1.82	6539.67
5	3	1.54	5551.72	1.55	5577.94
6	4	1.29	4660.43	1.30	4682.44
7	5	1.09	3912.23	1.09	3930.71
8	6	0.91	3284.15	0.92	3299.66
9	7	0.77	2756.90	0.77	2769.92
10	8	0.64	2314.30	0.65	2325.23
11	9	0.54	1942.76	0.54	1951.93
12	10	0.45	1630.86	0.46	1638.56
13	11	0.38	1369.04	0.38	1375.50
14	12	0.32	1149.25	0.32	1154.68
15	13	0.27	964.74	0.27	969.30
16	14	0.22	809.86	0.23	813.69
17	15	0.19	679.84	0.19	683.05
18	16	0.16	570.70	0.16	573.39
19	17	0.13	479.08	0.13	481.34
20	18	0.11	402.17	0.11	404.06
21	19	0.09	337.60	0.09	339.19
22	20	0.08	283.40	0.08	284.74
23	21	0.07	237.90	0.07	239.03
24	22	0.06	199.71	0.06	200.65
25	23	0.05	167.65	0.05	168.44
Jumlah Volume (m^3)			49118.04		49350.00
Luas DAS (m^2)			49350000.00		49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.00		1.00



Gambar C6-2 HSS Limantara DAS Pinamula

Tabel C6-3 HSS Limantara DAS Toaya

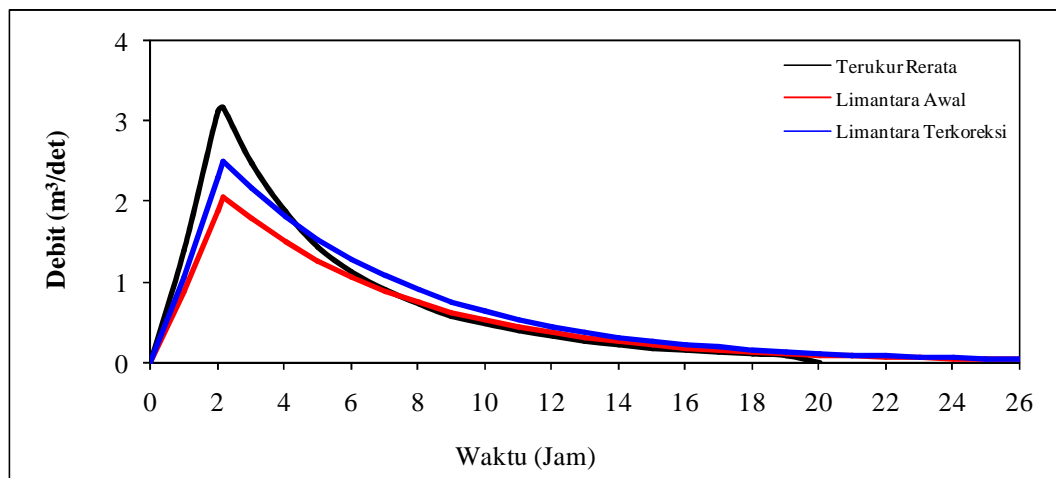
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.88	3154.24	0.79	2851.95
3	2	1.89	6794.15	1.71	6143.01
4	2.66	2.59	9334.13	2.34	8439.57
5	3	2.45	8802.07	2.21	7958.50
6	4	2.05	7388.96	1.86	6680.82
7	5	1.72	6202.71	1.56	5608.26
8	6	1.45	5206.91	1.31	4707.90
9	7	1.21	4370.98	1.10	3952.08
10	8	1.02	3669.25	0.92	3317.60
11	9	0.86	3080.18	0.77	2784.98
12	10	0.72	2585.68	0.65	2337.87
13	11	0.60	2170.56	0.55	1962.54
14	12	0.51	1822.09	0.46	1647.47
15	13	0.42	1529.57	0.38	1382.98
16	14	0.36	1284.01	0.32	1160.95
17	15	0.30	1077.87	0.27	974.57
18	16	0.25	904.83	0.23	818.11
19	17	0.21	759.56	0.19	686.77
20	18	0.18	637.62	0.16	576.51
21	19	0.15	535.25	0.13	483.96
22	20	0.12	449.32	0.11	406.26
23	21	0.10	377.19	0.09	341.04
24	22	0.09	316.63	0.08	286.29
25	23	0.07	265.80	0.07	240.33
Jumlah Volume (m ³)			72453.76		65510.00
Luas DAS (m ²)			65510000.00		65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.11		1.00



Gambar C6-3 HSS Limantara DAS Toaya

Tabel C6-4 HSS Limantara DAS Bangga

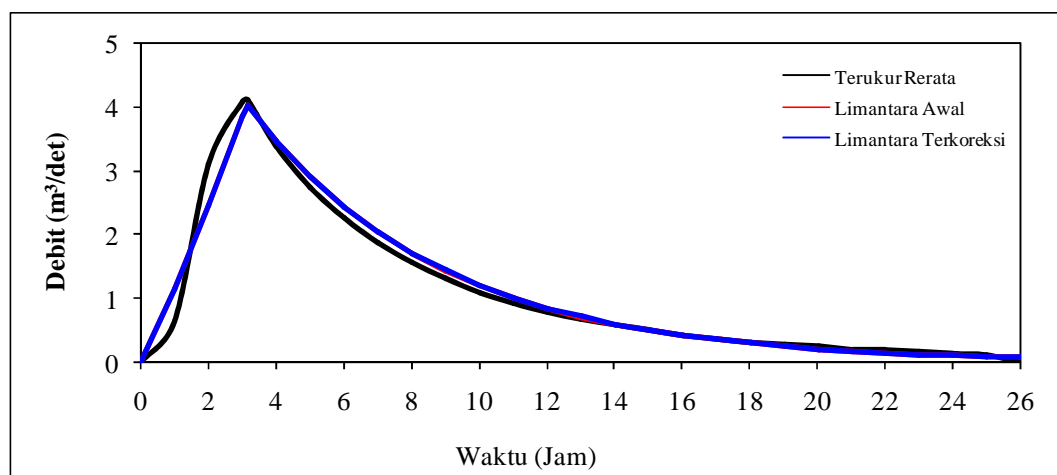
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m^3/det)	Volume V (m^3)	Debit Koreksi Q_c (m^3/det)	Volume Koreksi V_c (m^3)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	0.87	3139.93	1.06	3825.41
3	2	1.88	6763.33	2.29	8239.84
4	2.17	2.06	7401.74	2.50	9017.62
5	3	1.78	6400.83	2.17	7798.20
6	4	1.49	5373.22	1.82	6546.26
7	5	1.25	4510.59	1.53	5495.30
8	6	1.05	3786.45	1.28	4613.07
9	7	0.88	3178.56	1.08	3872.47
10	8	0.74	2668.26	0.90	3250.77
11	9	0.62	2239.89	0.76	2728.89
12	10	0.52	1880.29	0.64	2290.78
13	11	0.44	1578.43	0.53	1923.01
14	12	0.37	1325.02	0.45	1614.29
15	13	0.31	1112.30	0.38	1355.12
16	14	0.26	933.73	0.32	1137.57
17	15	0.22	783.82	0.27	954.94
18	16	0.18	657.99	0.22	801.63
19	17	0.15	552.35	0.19	672.93
20	18	0.13	463.67	0.16	564.90
21	19	0.11	389.23	0.13	474.21
22	20	0.09	326.75	0.11	398.08
23	21	0.08	274.29	0.09	334.17
24	22	0.06	230.25	0.08	280.52
25	23	0.05	193.29	0.07	235.49
Jumlah Volume (m^3)			55970.92		68190.00
Luas DAS (m^2)			68190000.00		68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			0.82		1.00



Gambar C6-4 HSS Limantara DAS Bangga

Tabel C6-5 HSS Limantara DAS Singkoyo

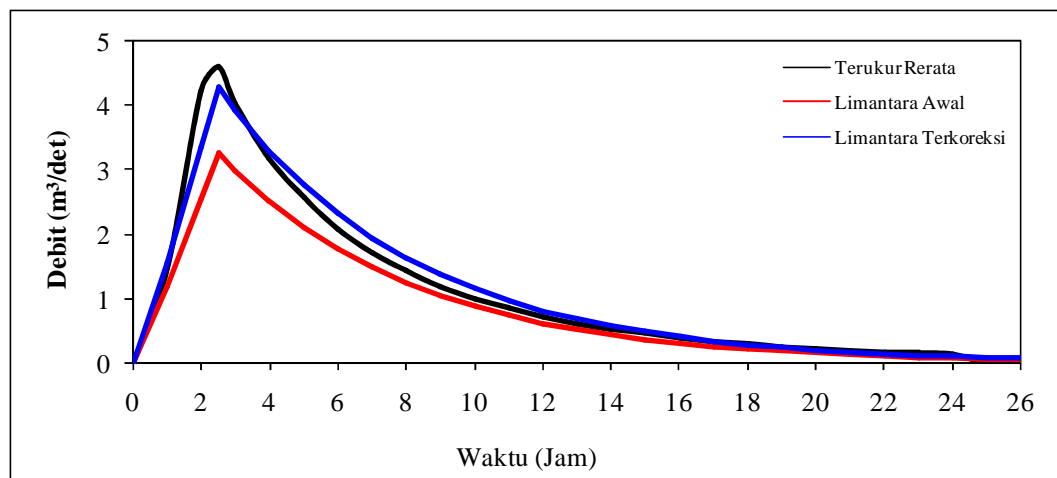
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.14	4095.50	1.14	4103.69
3	2	2.45	8821.60	2.46	8839.24
4	3	3.84	13819.12	3.85	13846.75
5	3.13	4.02	14473.27	4.03	14502.20
6	4	3.45	12424.90	3.46	12449.74
7	5	2.90	10430.17	2.90	10451.02
8	6	2.43	8755.68	2.44	8773.18
9	7	2.04	7350.02	2.05	7364.71
10	8	1.71	6170.02	1.72	6182.36
11	9	1.44	5179.47	1.44	5189.82
12	10	1.21	4347.94	1.21	4356.63
13	11	1.01	3649.91	1.02	3657.21
14	12	0.85	3063.94	0.85	3070.07
15	13	0.71	2572.05	0.72	2577.19
16	14	0.60	2159.12	0.60	2163.44
17	15	0.50	1812.49	0.50	1816.12
18	16	0.42	1521.51	0.42	1524.55
19	17	0.35	1277.24	0.36	1279.79
20	18	0.30	1072.19	0.30	1074.33
21	19	0.25	900.06	0.25	901.86
22	20	0.21	755.56	0.21	757.07
23	21	0.18	634.26	0.18	635.53
24	22	0.15	532.43	0.15	533.50
25	23	0.12	446.95	0.12	447.85
Jumlah Volume (m ³)			115818.46		116050.00
Luas DAS (m ²)			116050000.00		116050000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			1.00		1.00



Gambar C6-5 HSS Limantara DAS Singkoyo

Tabel C6-6 HSS Limantara DAS Tambun

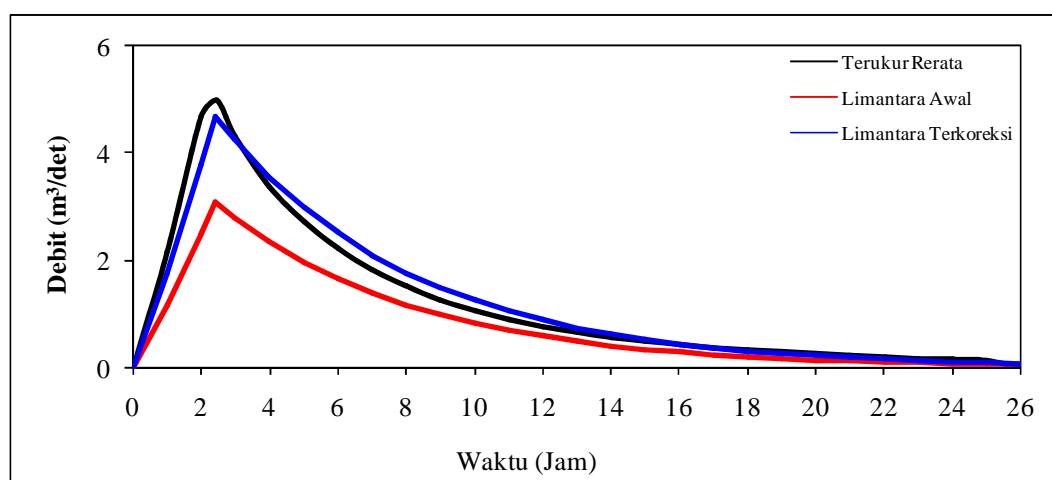
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.18	4260.81	1.55	5595.68
3	2	2.55	9177.67	3.35	12052.95
4	2.50	3.26	11723.95	4.28	15396.96
5	3	2.98	10732.55	3.92	14094.97
6	4	2.50	9009.52	3.29	11832.12
7	5	2.10	7563.10	2.76	9932.56
8	6	1.76	6348.90	2.32	8337.95
9	7	1.48	5329.63	1.94	6999.35
10	8	1.24	4473.99	1.63	5875.66
11	9	1.04	3755.73	1.37	4932.36
12	10	0.88	3152.77	1.15	4140.51
13	11	0.74	2646.62	0.97	3475.78
14	12	0.62	2221.72	0.81	2917.76
15	13	0.52	1865.04	0.68	2449.34
16	14	0.43	1565.62	0.57	2056.11
17	15	0.37	1314.27	0.48	1726.02
18	16	0.31	1103.27	0.40	1448.92
19	17	0.26	926.15	0.34	1216.31
20	18	0.22	777.46	0.28	1021.04
21	19	0.18	652.65	0.24	857.12
22	20	0.15	547.87	0.20	719.51
23	21	0.13	459.91	0.17	604.00
24	22	0.11	386.08	0.14	507.03
25	23	0.09	324.10	0.12	425.63
Jumlah Volume (m ³)			89995.29		118190.00
Luas DAS (m ²)			118190000.00		118190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			0.76		1.00



Gambar C6-6 HSS Limantara DAS Tambun

Tabel C6-7 HSS Limantara DAS Malino

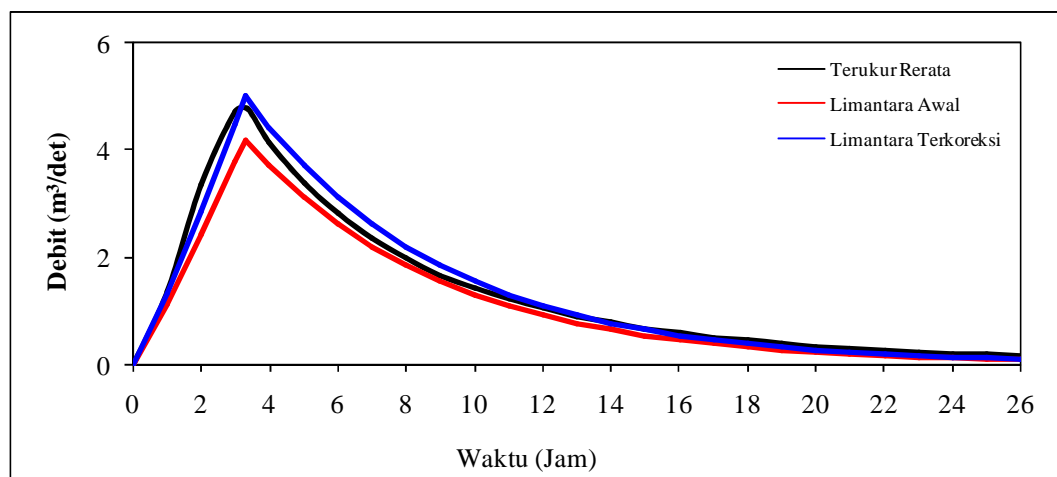
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.16	4165.32	1.76	6329.06
3	2	2.49	8971.98	3.79	13632.63
4	2.42	3.08	11085.19	4.68	16843.59
5	3	2.78	10017.13	4.23	15220.70
6	4	2.34	8408.95	3.55	12777.13
7	5	1.96	7058.95	2.98	10725.85
8	6	1.65	5925.69	2.50	9003.89
9	7	1.38	4974.36	2.10	7558.38
10	8	1.16	4175.76	1.76	6344.93
11	9	0.97	3505.37	1.48	5326.30
12	10	0.82	2942.61	1.24	4471.20
13	11	0.69	2470.19	1.04	3753.38
14	12	0.58	2073.62	0.88	3150.80
15	13	0.48	1740.72	0.73	2644.96
16	14	0.41	1461.26	0.62	2220.33
17	15	0.34	1226.66	0.52	1863.87
18	16	0.29	1029.73	0.43	1564.64
19	17	0.24	864.41	0.36	1313.45
20	18	0.20	725.64	0.31	1102.58
21	19	0.17	609.14	0.26	925.57
22	20	0.14	511.35	0.22	776.98
23	21	0.12	429.26	0.18	652.24
24	22	0.10	360.34	0.15	547.53
25	23	0.08	302.49	0.13	459.63
Jumlah Volume (m ³)			84733.64		128750.00
Luas DAS (m ²)			128750000.00		128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			0.66		1.00



Gambar C6-7 HSS Limantara DAS Malino

Tabel C6–8 HSS Limantara DAS Bunta

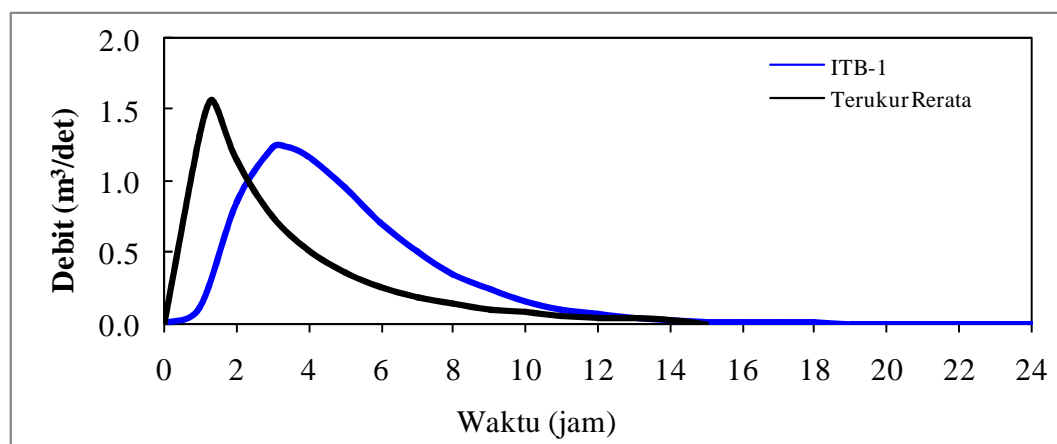
No.	Waktu T (Jam)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)	Debit Koreksi Q_c (m ³ /det)	Volume Koreksi V_c (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	1.11	4013.69	1.33	4786.69
3	2	2.40	8645.38	2.86	10310.39
4	3	3.76	13543.07	4.49	16151.32
5	3.30	4.19	15066.84	4.99	17968.56
6	4	3.70	13337.47	4.42	15906.13
7	5	3.11	11196.24	3.71	13352.51
8	6	2.61	9398.76	3.11	11208.86
9	7	2.19	7889.85	2.61	9409.36
10	8	1.84	6623.19	2.19	7898.75
11	9	1.54	5559.89	1.84	6630.66
12	10	1.30	4667.29	1.55	5566.16
13	11	1.09	3917.99	1.30	4672.55
14	12	0.91	3288.98	1.09	3922.40
15	13	0.77	2760.96	0.91	3292.69
16	14	0.64	2317.71	0.77	2764.07
17	15	0.54	1945.61	0.64	2320.32
18	16	0.45	1633.26	0.54	1947.81
19	17	0.38	1371.05	0.45	1635.10
20	18	0.32	1150.94	0.38	1372.60
21	19	0.27	966.16	0.32	1152.24
22	20	0.23	811.05	0.27	967.25
23	21	0.19	680.84	0.23	811.97
24	22	0.16	571.54	0.19	681.61
25	23	0.13	479.78	0.16	572.18
Jumlah Volume (m ³)			121357.77		144730.00
Luas DAS (m ²)			144730000.00		144730000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)			0.84		1.00



Gambar C6–8 HSS Limantara DAS Bunta

Tabel C7-1 HSS ITB-1 DAS Bahomoleo

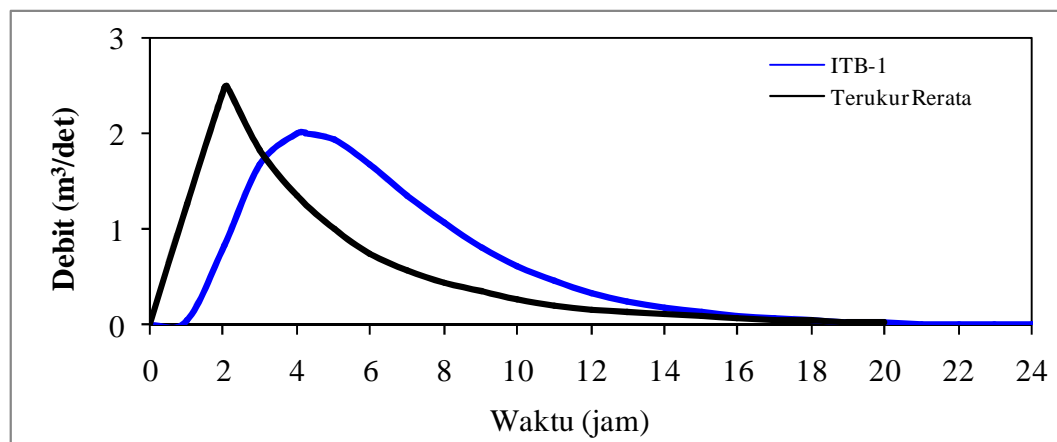
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.30	0.09	0.01	0.11	204.178
3	2	0.61	0.68	0.12	0.85	1736.438
4	3	0.91	0.99	0.25	1.23	3746.786
5	3.29	1.00	1.00	0.09	1.25	1312.683
6	4	1.21	0.94	0.21	1.18	3079.169
7	5	1.52	0.77	0.26	0.96	3841.910
8	6	1.82	0.57	0.20	0.72	3009.175
9	7	2.12	0.41	0.15	0.51	2206.059
10	8	2.43	0.28	0.11	0.35	1554.897
11	9	2.73	0.19	0.07	0.24	1068.611
12	10	3.04	0.13	0.05	0.16	721.914
13	11	3.34	0.09	0.03	0.11	481.789
14	12	3.64	0.06	0.02	0.07	318.664
15	13	3.95	0.04	0.01	0.05	209.343
16	14	4.25	0.02	0.01	0.03	136.804
17	15	4.55	0.02	0.01	0.02	89.029
18	16	4.86	0.01	0.00	0.01	57.744
19	17	5.16	0.01	0.00	0.01	37.351
20	18	5.46	0.00	0.00	0.01	24.105
21	19	5.77	0.00	0.00	0.00	15.527
22	20	6.07	0.00	0.00	0.00	9.986
23	21	6.37	0.00	0.00	0.00	6.413
24	22	6.68	0.00	0.00	0.00	4.114
25	23	6.98	0.00	0.00	0.00	2.636
Jumlah				1.62		23880.00
Luas DAS (m ²)						23880000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-1 HSS ITB-1 DAS Bahomoleo

Tabel C7-2 HSS ITB-1 DAS Pinamula

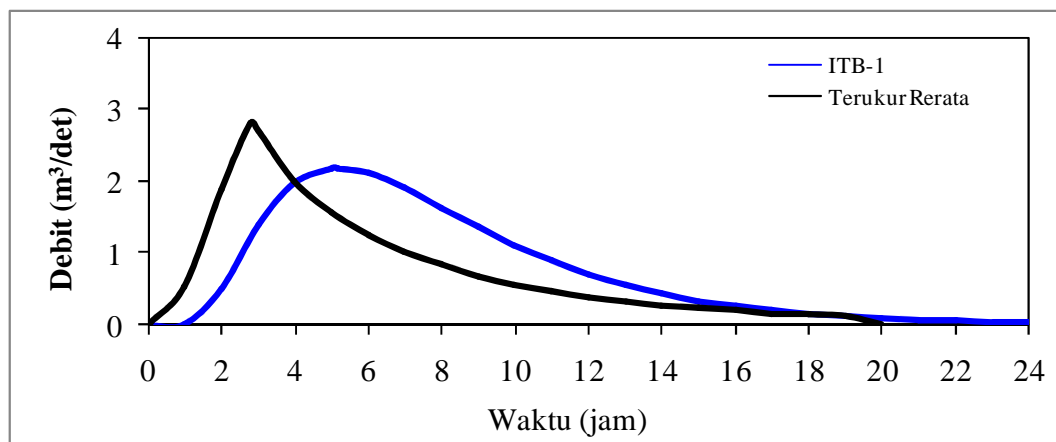
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.24	0.02	0.00	0.05	89.635
3	2	0.47	0.41	0.05	0.83	1588.189
4	3	0.71	0.84	0.15	1.68	4523.325
5	3	0.71	0.84	0.00	2.00	6623.674
6	4.23	1.00	1.00	0.27	2.01	1647.347
7	5	1.18	0.96	0.18	1.93	5464.592
8	6	1.42	0.83	0.21	1.67	6469.196
9	7	1.66	0.68	0.18	1.36	5452.809
10	8	1.89	0.53	0.14	1.07	4373.701
11	9	2.13	0.41	0.11	0.82	3397.790
12	10	2.36	0.31	0.08	0.62	2582.771
13	11	2.60	0.23	0.06	0.46	1933.060
14	12	2.84	0.17	0.05	0.34	1430.364
15	13	3.07	0.12	0.03	0.25	1049.278
16	14	3.31	0.09	0.03	0.18	764.573
17	15	3.55	0.06	0.02	0.13	554.166
18	16	3.78	0.05	0.01	0.09	399.949
19	17	4.02	0.03	0.01	0.07	287.641
20	18	4.26	0.02	0.01	0.05	206.273
21	19	4.49	0.02	0.00	0.03	147.565
22	20	4.73	0.01	0.00	0.02	105.350
23	21	4.97	0.01	0.00	0.02	75.081
24	22	5.20	0.01	0.00	0.01	53.429
25	23	5.44	0.00	0.00	0.01	37.972
Jumlah				1.61		49350.00
Luas DAS (m ²)						49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-2 HSS ITB-1 DAS Pinamula

Tabel C7-3 HSS ITB-1 DAS Toaya

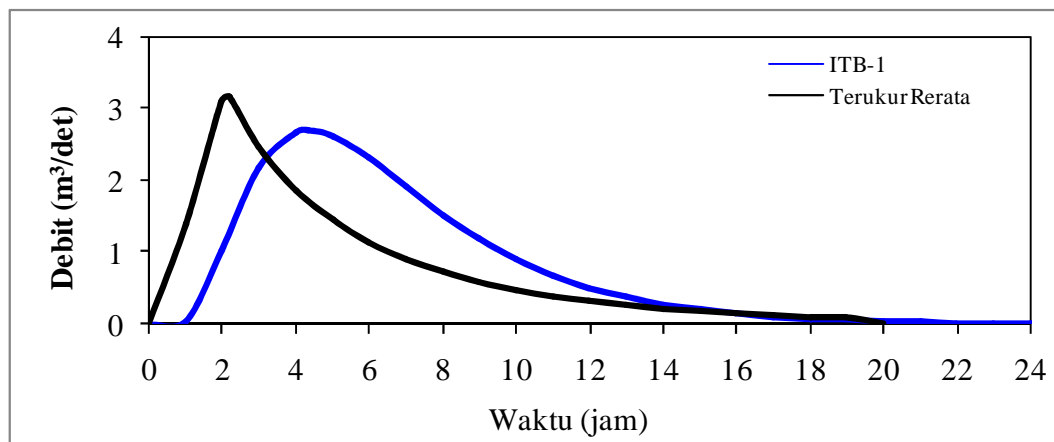
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.19	0.01	0.00	0.01	25.545
3	2	0.39	0.23	0.02	0.51	944.101
4	3	0.58	0.64	0.08	1.39	3416.599
5	4	0.77	0.91	0.15	1.98	6060.660
6	5	0.97	1.00	0.18	2.18	7487.332
7	5.16	1.00	1.00	0.03	2.18	1286.579
8	6	1.16	0.97	0.16	2.11	6464.673
9	7	1.36	0.87	0.18	1.90	7217.571
10	8	1.55	0.75	0.16	1.63	6352.750
11	9	1.74	0.62	0.13	1.36	5379.710
12	10	1.94	0.51	0.11	1.11	4437.135
13	11	2.13	0.41	0.09	0.89	3591.573
14	12	2.32	0.32	0.07	0.70	2867.133
15	13	2.52	0.25	0.06	0.55	2264.885
16	14	2.71	0.20	0.04	0.43	1774.601
17	15	2.90	0.15	0.03	0.34	1381.495
18	16	3.10	0.12	0.03	0.26	1069.887
19	17	3.29	0.09	0.02	0.20	825.050
20	18	3.49	0.07	0.02	0.15	634.008
21	19	3.68	0.05	0.01	0.12	485.769
22	20	3.87	0.04	0.01	0.09	371.265
23	21	4.07	0.03	0.01	0.07	283.149
24	22	4.26	0.02	0.01	0.05	215.553
25	23	4.45	0.02	0.00	0.04	163.835
Jumlah				1.61		65510.00
Luas DAS (m ²)						65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-3 HSS ITB-1 DAS Toaya

Tabel C7-4 HSS ITB-1 DAS Bangga

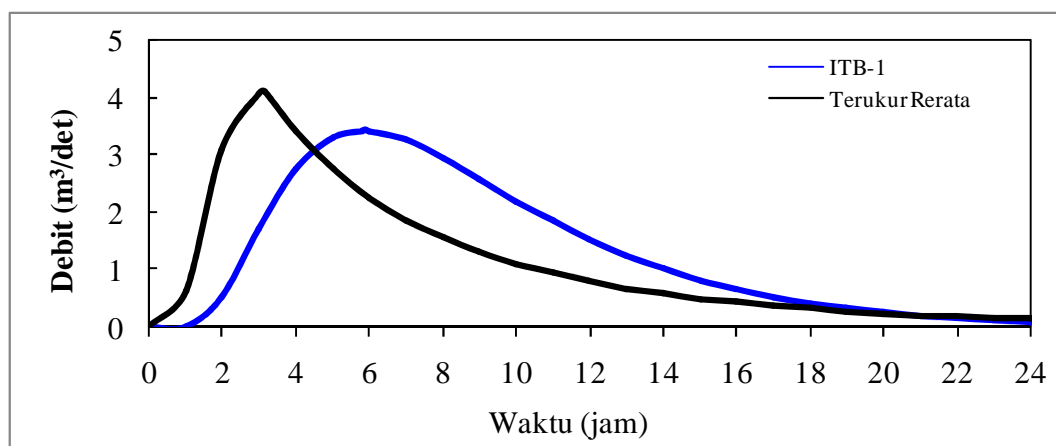
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.23	0.02	0.00	0.05	98.870
3	2	0.46	0.38	0.05	1.03	1949.984
4	3	0.69	0.81	0.14	2.17	5759.979
5	4	0.92	0.99	0.21	2.66	8692.199
6	4.36	1.00	1.00	0.08	2.69	3507.552
7	5	1.15	0.97	0.14	2.61	6064.793
8	6	1.37	0.86	0.21	2.31	8856.829
9	7	1.60	0.71	0.18	1.91	7591.272
10	8	1.83	0.57	0.15	1.52	6182.517
11	9	2.06	0.44	0.12	1.18	4872.051
12	10	2.29	0.34	0.09	0.90	3754.128
13	11	2.52	0.25	0.07	0.68	2846.868
14	12	2.75	0.19	0.05	0.51	2133.599
15	13	2.98	0.14	0.04	0.37	1584.832
16	14	3.21	0.10	0.03	0.28	1169.086
17	15	3.44	0.07	0.02	0.20	857.689
18	16	3.67	0.05	0.01	0.15	626.466
19	17	3.90	0.04	0.01	0.11	455.932
20	18	4.12	0.03	0.01	0.08	330.832
21	19	4.35	0.02	0.01	0.06	239.459
22	20	4.58	0.01	0.00	0.04	172.957
23	21	4.81	0.01	0.00	0.03	124.699
24	22	5.04	0.01	0.00	0.02	89.768
25	23	5.27	0.01	0.00	0.01	64.535
Jumlah				1.61		68190.00
Luas DAS (m ²)						68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-4 HSS ITB-1 DAS Bangga

Tabel C7-5 HSS ITB-1 DAS Singkoyo

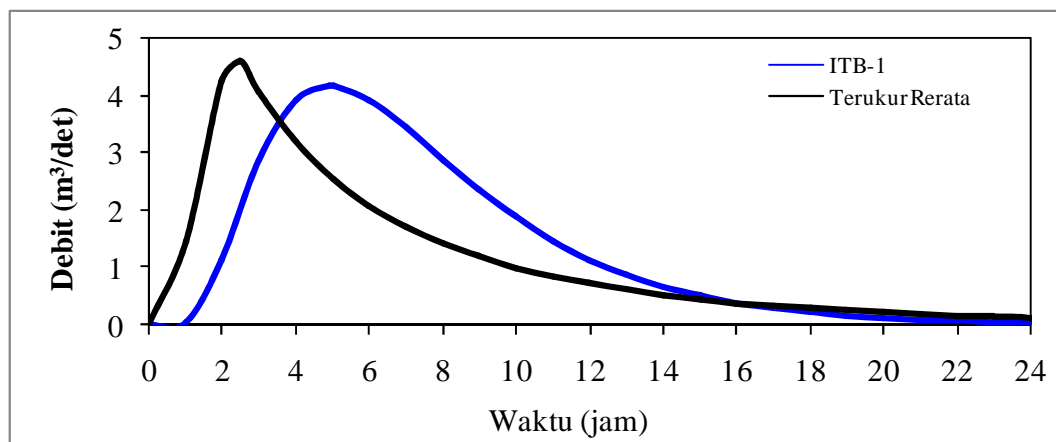
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.17	0.00	0.00	0.01	14.923
3	2	0.34	0.15	0.01	0.51	939.029
4	3	0.51	0.50	0.06	1.71	4005.066
5	4	0.68	0.80	0.11	2.75	8028.932
6	5	0.86	0.96	0.15	3.30	10881.037
7	5.84	1.00	1.00	0.14	3.42	10194.856
8	6	1.03	1.00	0.03	3.42	1925.523
9	7	1.20	0.95	0.17	3.26	12006.543
10	8	1.37	0.86	0.16	2.94	11159.924
11	9	1.54	0.75	0.14	2.57	9932.215
12	10	1.71	0.64	0.12	2.19	8580.958
13	11	1.88	0.54	0.10	1.84	7258.177
14	12	2.05	0.44	0.08	1.52	6044.104
15	13	2.22	0.36	0.07	1.24	4973.774
16	14	2.40	0.30	0.06	1.01	4055.463
17	15	2.57	0.24	0.05	0.81	3282.667
18	16	2.74	0.19	0.04	0.65	2641.567
19	17	2.91	0.15	0.03	0.52	2115.490
20	18	3.08	0.12	0.02	0.42	1687.463
21	19	3.25	0.10	0.02	0.33	1341.567
22	20	3.42	0.08	0.01	0.26	1063.577
23	21	3.59	0.06	0.01	0.21	841.169
24	22	3.76	0.05	0.01	0.16	663.898
25	23	3.94	0.04	0.01	0.13	523.050
Jumlah				1.61		116050.00
Luas DAS (m ²)						116050000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-5 HSS ITB-1 DAS Singkoyo

Tabel C7-6 HSS ITB-1 DAS Tambun

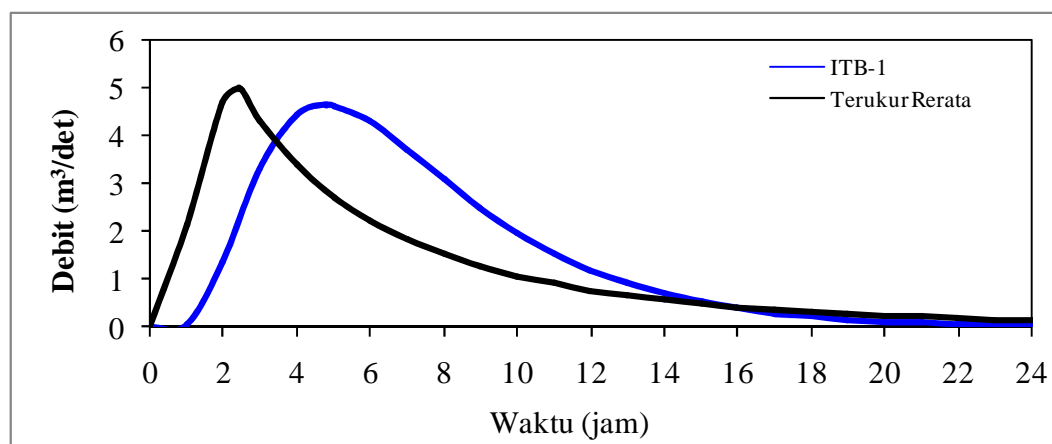
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.20	0.01	0.00	0.04	71.040
3	2	0.41	0.28	0.03	1.15	2134.273
4	3	0.61	0.69	0.10	2.87	7234.479
5	4	0.82	0.94	0.17	3.90	12196.199
6	4.90	1.00	1.00	0.18	4.15	13047.389
7	5	1.02	1.00	0.02	4.15	1496.170
8	6	1.22	0.94	0.20	3.90	14496.043
9	7	1.43	0.82	0.18	3.42	13189.504
10	8	1.63	0.69	0.15	2.87	11337.125
11	9	1.84	0.56	0.13	2.34	9393.274
12	10	2.04	0.45	0.10	1.87	7589.957
13	11	2.24	0.36	0.08	1.47	6024.253
14	12	2.45	0.28	0.06	1.15	4718.969
15	13	2.65	0.21	0.05	0.89	3659.770
16	14	2.86	0.16	0.04	0.68	2816.396
17	15	3.06	0.12	0.03	0.52	2154.112
18	16	3.27	0.09	0.02	0.39	1639.444
19	17	3.47	0.07	0.02	0.30	1242.715
20	18	3.67	0.05	0.01	0.22	938.848
21	19	3.88	0.04	0.01	0.17	707.301
22	20	4.08	0.03	0.01	0.13	531.602
23	21	4.29	0.02	0.01	0.09	398.743
24	22	4.49	0.02	0.00	0.07	298.570
25	23	4.69	0.01	0.00	0.05	223.228
Jumlah				1.61		118190.00
Luas DAS (m ²)						118190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-6 HSS ITB-1 DAS Tambun

Tabel C7-7 HSS ITB-1 DAS Malino

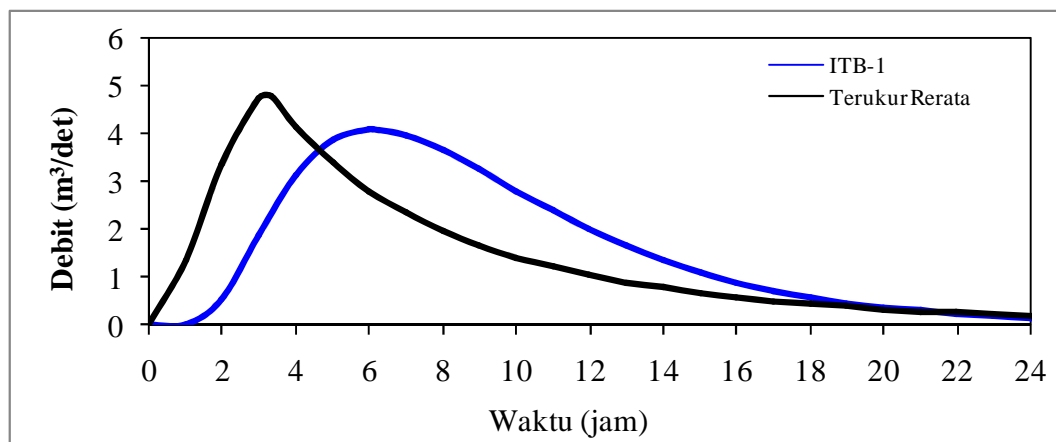
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.21	0.01	0.00	0.05	93.956
3	2	0.42	0.30	0.03	1.38	2572.148
4	3	0.63	0.72	0.11	3.32	8462.921
5	4	0.84	0.95	0.17	4.42	13934.947
6	4.78	1.00	1.00	0.16	4.63	12731.900
7	5	1.05	1.00	0.05	4.62	3638.432
8	6	1.25	0.93	0.20	4.29	16032.837
9	7	1.46	0.80	0.18	3.72	14406.975
10	8	1.67	0.67	0.15	3.09	12245.758
11	9	1.88	0.54	0.13	2.49	10041.612
12	10	2.09	0.43	0.10	1.97	8034.922
13	11	2.30	0.33	0.08	1.54	6318.040
14	12	2.51	0.26	0.06	1.19	4904.528
15	13	2.72	0.20	0.05	0.91	3770.308
16	14	2.93	0.15	0.04	0.69	2876.533
17	15	3.14	0.11	0.03	0.52	2181.522
18	16	3.35	0.08	0.02	0.39	1646.472
19	17	3.56	0.06	0.02	0.29	1237.762
20	18	3.76	0.05	0.01	0.22	927.478
21	19	3.97	0.04	0.01	0.16	693.081
22	20	4.18	0.03	0.01	0.12	516.728
23	21	4.39	0.02	0.00	0.09	384.491
24	22	4.60	0.01	0.00	0.07	285.610
25	23	4.81	0.01	0.00	0.05	211.849
Jumlah				1.61		128750.00
Luas DAS (m ²)						128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-7 HSS ITB-1 DAS Malino

Tabel C7-8 HSS ITB-1 DAS Bunta

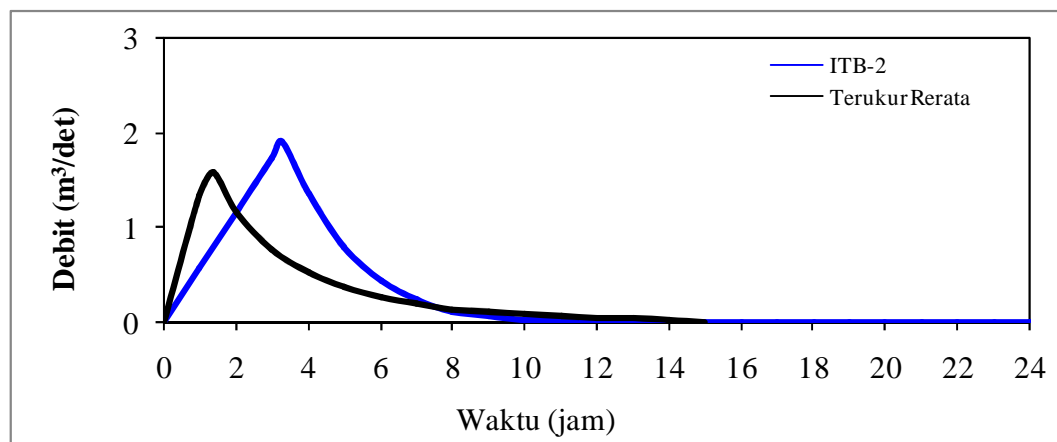
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.16	0.00	0.00	0.01	12.527
3	2	0.33	0.13	0.01	0.52	953.426
4	3	0.49	0.46	0.05	1.87	4309.342
5	4	0.66	0.76	0.10	3.13	9003.043
6	5	0.82	0.94	0.14	3.86	12586.694
7	6	0.99	1.00	0.16	4.09	14318.877
8	6.09	1.00	1.00	0.01	4.09	1284.427
9	7	1.15	0.97	0.15	3.98	13259.082
10	8	1.31	0.89	0.15	3.66	13739.703
11	9	1.48	0.79	0.14	3.25	12425.123
12	10	1.64	0.69	0.12	2.81	10894.653
13	11	1.81	0.58	0.10	2.38	9344.531
14	12	1.97	0.49	0.09	2.00	7885.679
15	13	2.14	0.40	0.07	1.65	6572.957
16	14	2.30	0.33	0.06	1.36	5426.496
17	15	2.46	0.27	0.05	1.11	4446.114
18	16	2.63	0.22	0.04	0.90	3620.640
19	17	2.79	0.18	0.03	0.73	2933.723
20	18	2.96	0.14	0.03	0.59	2367.313
21	19	3.12	0.12	0.02	0.47	1903.653
22	20	3.29	0.09	0.02	0.38	1526.327
23	21	3.45	0.07	0.01	0.30	1220.738
24	22	3.61	0.06	0.01	0.24	974.236
25	23	3.78	0.05	0.01	0.19	776.064
Jumlah				1.61		144730.00
Luas DAS (m ²)						144730000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C7-8 HSS ITB-1 DAS Bunta

Tabel C8-1 HSS ITB-2 DAS Bahomoleo

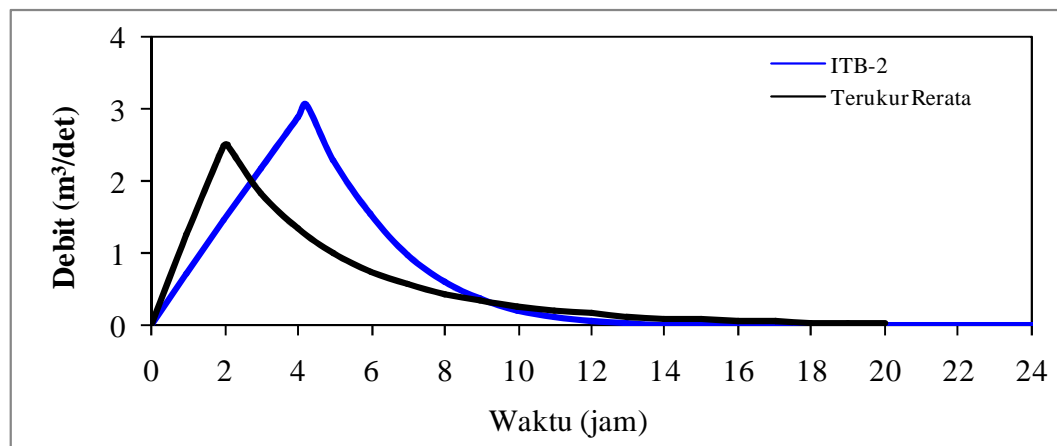
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.30	0.30	0.05	0.58	1035.944
3	2	0.61	0.61	0.14	1.15	3107.832
4	3	0.91	0.91	0.23	1.73	5179.720
5	3.29	1.00	1.00	0.09	1.90	1919.887
6	4	1.21	0.71	0.18	1.35	4125.568
7	5	1.52	0.42	0.17	0.79	3864.469
8	6	1.82	0.23	0.10	0.44	2224.457
9	7	2.12	0.12	0.05	0.23	1213.363
10	8	2.43	0.06	0.03	0.12	629.933
11	9	2.73	0.03	0.01	0.06	312.345
12	10	3.04	0.01	0.01	0.03	148.332
13	11	3.34	0.01	0.00	0.01	67.626
14	12	3.64	0.00	0.00	0.00	29.658
15	13	3.95	0.00	0.00	0.00	12.534
16	14	4.25	0.00	0.00	0.00	5.112
17	15	4.55	0.00	0.00	0.00	2.015
18	16	4.86	0.00	0.00	0.00	0.768
19	17	5.16	0.00	0.00	0.00	0.284
20	18	5.46	0.00	0.00	0.00	0.102
21	19	5.77	0.00	0.00	0.00	0.035
22	20	6.07	0.00	0.00	0.00	0.012
23	21	6.37	0.00	0.00	0.00	0.004
24	22	6.68	0.00	0.00	0.00	0.001
25	23	6.98	0.00	0.00	0.00	0.000
Jumlah				1.06	23880.00	
Luas DAS (m ²)					23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C8-1 HSS ITB-2 DAS Bahomoleo

Tabel C8-2 HSS ITB-2 DAS Pinamula

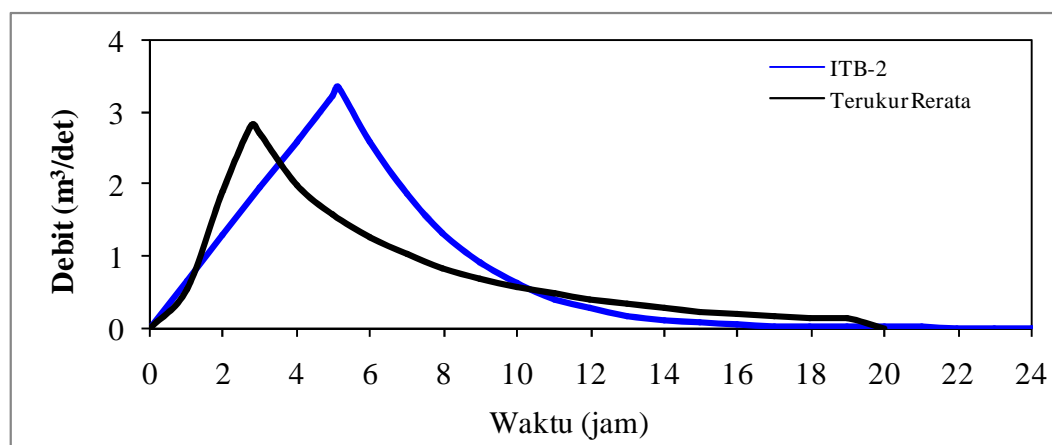
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.24	0.24	0.03	0.72	1304.271
3	2	0.47	0.47	0.08	1.45	3912.812
4	3	0.71	0.71	0.14	2.17	6521.353
5	4	0.95	0.95	0.20	2.90	9129.894
6	4.23	1.00	1.00	0.05	3.06	2450.528
7	5	1.18	0.75	0.16	2.30	7453.115
8	6	1.42	0.50	0.15	1.54	6908.856
9	7	1.66	0.32	0.10	0.99	4546.604
10	8	1.89	0.20	0.06	0.62	2892.112
11	9	2.13	0.12	0.04	0.37	1782.466
12	10	2.36	0.07	0.02	0.22	1066.464
13	11	2.60	0.04	0.01	0.13	620.429
14	12	2.84	0.02	0.01	0.07	351.444
15	13	3.07	0.01	0.00	0.04	194.069
16	14	3.31	0.01	0.00	0.02	104.580
17	15	3.55	0.00	0.00	0.01	55.046
18	16	3.78	0.00	0.00	0.01	28.324
19	17	4.02	0.00	0.00	0.00	14.258
20	18	4.26	0.00	0.00	0.00	7.027
21	19	4.49	0.00	0.00	0.00	3.392
22	20	4.73	0.00	0.00	0.00	1.605
23	21	4.97	0.00	0.00	0.00	0.745
24	22	5.20	0.00	0.00	0.00	0.339
25	23	5.44	0.00	0.00	0.00	0.151
Jumlah				1.06		49350.00
Luas DAS (m ²)						49350000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-2 HSS ITB-2 DAS Pinamula

Tabel C8-3 HSS ITB-2 DAS Toaya

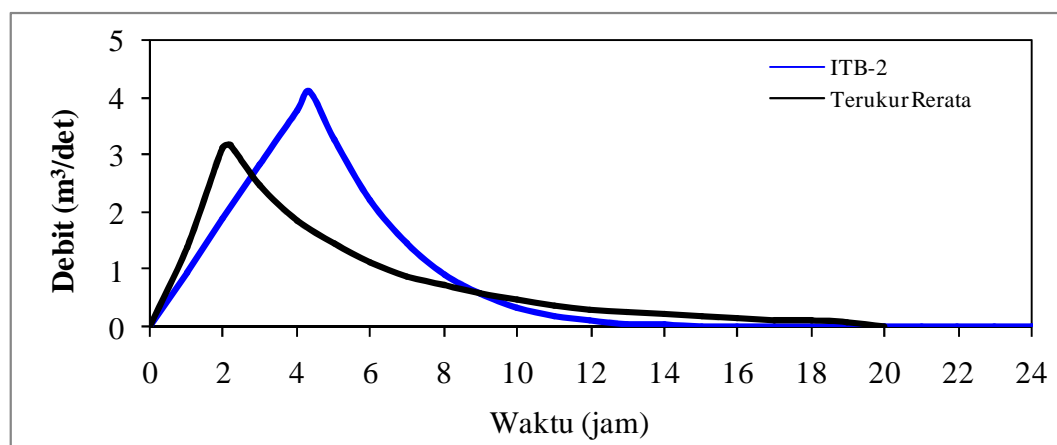
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.19	0.19	0.02	0.65	1163.108
3	2	0.39	0.39	0.06	1.29	3489.323
4	3	0.58	0.58	0.09	1.94	5815.539
5	4	0.77	0.77	0.13	2.58	8141.754
6	5	0.97	0.97	0.17	3.23	10467.970
7	5.16	1.00	1.00	0.03	3.34	1936.132
8	6	1.16	0.78	0.14	2.59	8924.050
9	7	1.36	0.56	0.13	1.87	8034.272
10	8	1.55	0.40	0.09	1.32	5742.057
11	9	1.74	0.27	0.06	0.91	4008.878
12	10	1.94	0.18	0.04	0.61	2738.010
13	11	2.13	0.12	0.03	0.40	1831.574
14	12	2.32	0.08	0.02	0.26	1201.251
15	13	2.52	0.05	0.01	0.17	773.120
16	14	2.71	0.03	0.01	0.10	488.652
17	15	2.90	0.02	0.00	0.06	303.522
18	16	3.10	0.01	0.00	0.04	185.389
19	17	3.29	0.01	0.00	0.02	111.409
20	18	3.49	0.00	0.00	0.01	65.905
21	19	3.68	0.00	0.00	0.01	38.395
22	20	3.87	0.00	0.00	0.00	22.038
23	21	4.07	0.00	0.00	0.00	12.468
24	22	4.26	0.00	0.00	0.00	6.955
25	23	4.45	0.00	0.00	0.00	3.826
Jumlah				1.06		65510.00
Luas DAS (m ²)						65510000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-3 HSS ITB-2 DAS Toaya

Tabel C8-4 HSS ITB-2 DAS Bangga

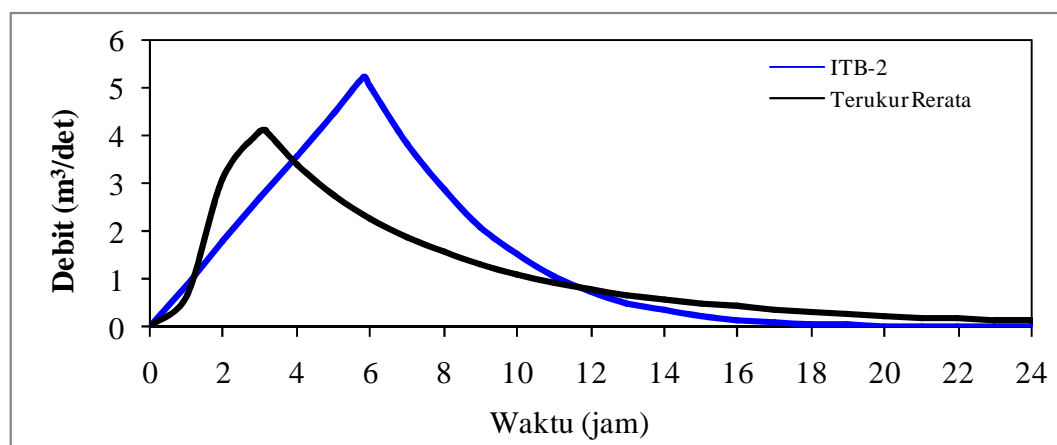
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.23	0.23	0.03	0.94	1692.236
3	2	0.46	0.46	0.08	1.88	5076.707
4	3	0.69	0.69	0.13	2.82	8461.178
5	4	0.92	0.92	0.18	3.76	11845.649
6	4.36	1.00	1.00	0.08	4.10	5160.126
7	5	1.15	0.80	0.13	3.27	8436.713
8	6	1.37	0.54	0.15	2.23	9896.695
9	7	1.60	0.36	0.10	1.46	6639.611
10	8	1.83	0.23	0.07	0.93	4312.485
11	9	2.06	0.14	0.04	0.58	2717.871
12	10	2.29	0.08	0.03	0.35	1665.127
13	11	2.52	0.05	0.02	0.20	993.237
14	12	2.75	0.03	0.01	0.12	577.584
15	13	2.98	0.02	0.01	0.07	327.814
16	14	3.21	0.01	0.00	0.04	181.771
17	15	3.44	0.00	0.00	0.02	98.557
18	16	3.67	0.00	0.00	0.01	52.295
19	17	3.90	0.00	0.00	0.01	27.174
20	18	4.12	0.00	0.00	0.00	13.837
21	19	4.35	0.00	0.00	0.00	6.908
22	20	4.58	0.00	0.00	0.00	3.384
23	21	4.81	0.00	0.00	0.00	1.627
24	22	5.04	0.00	0.00	0.00	0.768
25	23	5.27	0.00	0.00	0.00	0.356
Jumlah				1.06		68190.00
Luas DAS (m ²)						68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-4 HSS ITB-2 DAS Bangga

Tabel C8-5 HSS ITB-2 DAS Singkoyo

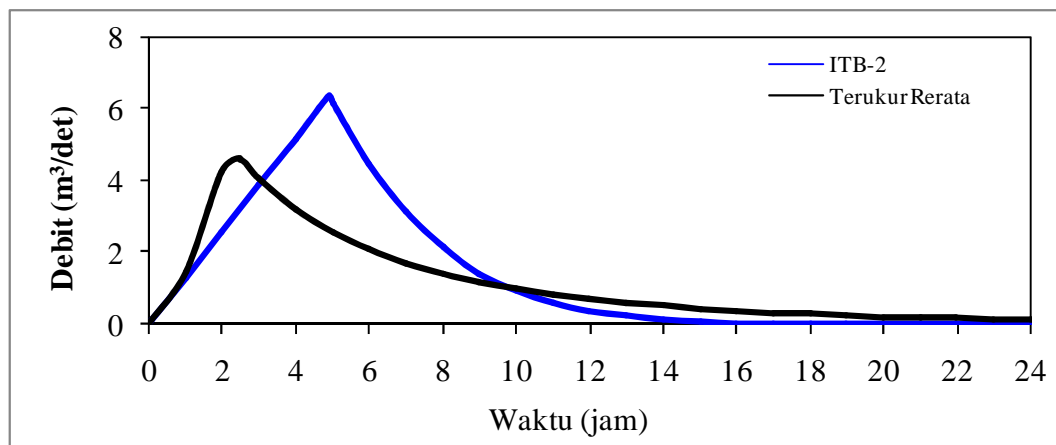
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.17	0.17	0.01	0.89	1610.346
3	2	0.34	0.34	0.04	1.79	4831.038
4	3	0.51	0.51	0.07	2.68	8051.730
5	4	0.68	0.68	0.10	3.58	11272.422
6	5	0.86	0.86	0.13	4.47	14493.114
7	5.84	1.00	1.00	0.13	5.23	14728.404
8	6	1.03	0.96	0.03	5.02	2887.553
9	7	1.20	0.73	0.14	3.83	15931.012
10	8	1.37	0.55	0.11	2.86	12048.679
11	9	1.54	0.40	0.08	2.10	8936.989
12	10	1.71	0.29	0.06	1.51	6509.026
13	11	1.88	0.21	0.04	1.07	4659.570
14	12	2.05	0.14	0.03	0.75	3281.322
15	13	2.22	0.10	0.02	0.51	2274.801
16	14	2.40	0.07	0.01	0.35	1553.491
17	15	2.57	0.04	0.01	0.23	1045.665
18	16	2.74	0.03	0.01	0.15	694.089
19	17	2.91	0.02	0.00	0.10	454.545
20	18	3.08	0.01	0.00	0.06	293.804
21	19	3.25	0.01	0.00	0.04	187.510
22	20	3.42	0.00	0.00	0.03	118.202
23	21	3.59	0.00	0.00	0.02	73.621
24	22	3.76	0.00	0.00	0.01	45.319
25	23	3.94	0.00	0.00	0.01	27.580
Jumlah				1.06		116050.00
Luas DAS (m ²)						116050000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-5 HSS ITB-2 DAS Singkoyo

Tabel C8-6 HSS ITB-2 DAS Tambun

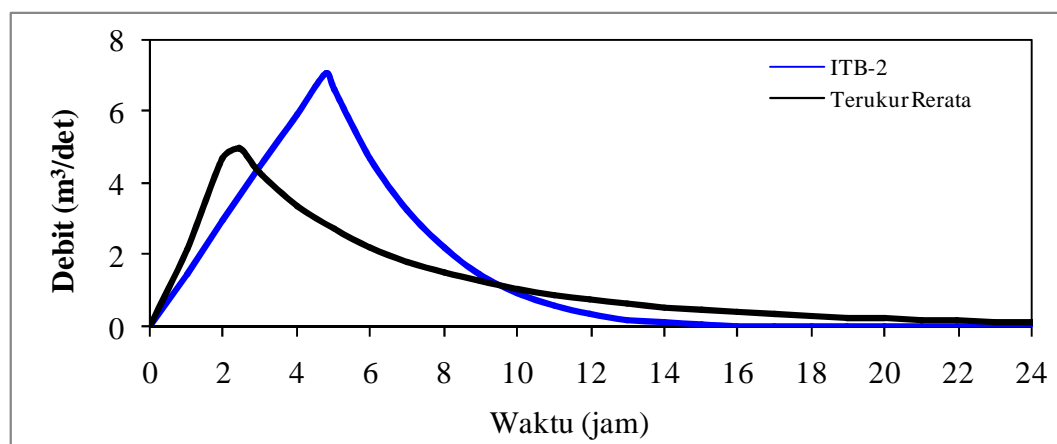
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.20	0.20	0.02	1.29	2329.129
3	2	0.41	0.41	0.06	2.59	6987.386
4	3	0.61	0.61	0.10	3.88	11645.644
5	4	0.82	0.82	0.15	5.18	16303.901
6	4.90	1.00	1.00	0.17	6.34	18653.557
7	5	1.02	0.97	0.02	6.15	2250.590
8	6	1.22	0.70	0.17	4.45	19068.103
9	7	1.43	0.49	0.12	3.12	13626.592
10	8	1.63	0.34	0.08	2.14	9476.368
11	9	1.84	0.23	0.06	1.43	6425.373
12	10	2.04	0.15	0.04	0.93	4254.319
13	11	2.24	0.09	0.02	0.60	2754.228
14	12	2.45	0.06	0.02	0.37	1745.369
15	13	2.65	0.04	0.01	0.23	1083.694
16	14	2.86	0.02	0.01	0.14	659.815
17	15	3.06	0.01	0.00	0.08	394.235
18	16	3.27	0.01	0.00	0.05	231.310
19	17	3.47	0.00	0.00	0.03	133.352
20	18	3.67	0.00	0.00	0.02	75.580
21	19	3.88	0.00	0.00	0.01	42.134
22	20	4.08	0.00	0.00	0.00	23.113
23	21	4.29	0.00	0.00	0.00	12.482
24	22	4.49	0.00	0.00	0.00	6.639
25	23	4.69	0.00	0.00	0.00	3.479
Jumlah				1.06	118190.00	
Luas DAS (m ²)					118190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C8-6 HSS ITB-2 DAS Tambun

Tabel C8-7 HSS ITB-2 DAS Malino

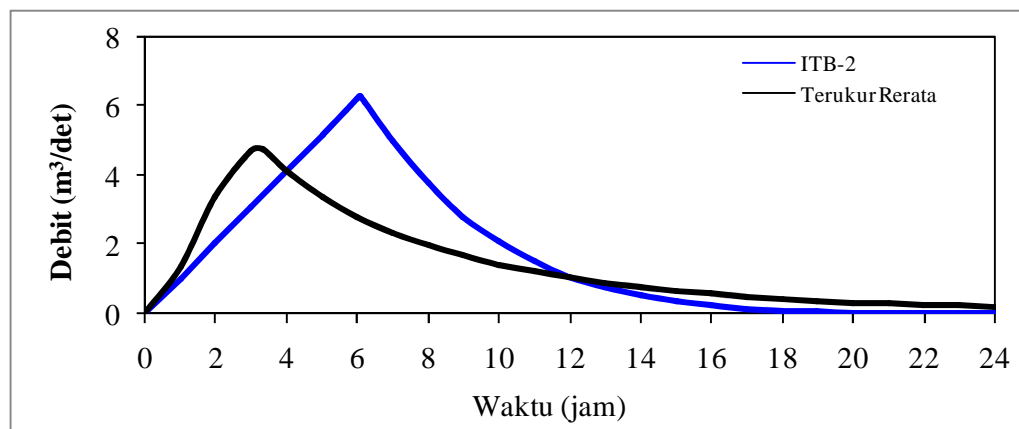
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.21	0.21	0.02	1.48	2664.041
3	2	0.42	0.42	0.07	2.96	7992.122
4	3	0.63	0.63	0.11	4.44	13320.203
5	4	0.84	0.84	0.15	5.92	18648.284
6	4.78	1.00	1.00	0.15	7.08	18283.921
7	5	1.05	0.93	0.04	6.60	5378.993
8	6	1.25	0.67	0.17	4.72	20376.002
9	7	1.46	0.46	0.12	3.27	14380.960
10	8	1.67	0.31	0.08	2.21	9867.106
11	9	1.88	0.21	0.05	1.45	6594.510
12	10	2.09	0.13	0.04	0.93	4299.963
13	11	2.30	0.08	0.02	0.59	2739.178
14	12	2.51	0.05	0.01	0.36	1706.657
15	13	2.72	0.03	0.01	0.22	1041.054
16	14	2.93	0.02	0.01	0.13	622.269
17	15	3.14	0.01	0.00	0.07	364.750
18	16	3.35	0.01	0.00	0.04	209.809
19	17	3.56	0.00	0.00	0.02	118.504
20	18	3.76	0.00	0.00	0.01	65.761
21	19	3.97	0.00	0.00	0.01	35.871
22	20	4.18	0.00	0.00	0.00	19.243
23	21	4.39	0.00	0.00	0.00	10.157
24	22	4.60	0.00	0.00	0.00	5.276
25	23	4.81	0.00	0.00	0.00	2.699
Jumlah				1.06		128750.00
Luas DAS (m ²)						128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-7 HSS ITB-2 DAS Malino

Tabel C8-8 HSS ITB-2 DAS Bunta

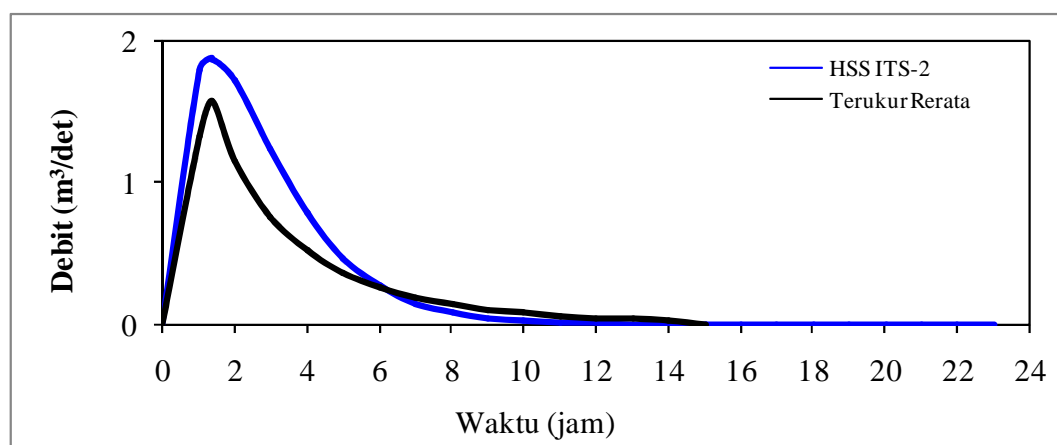
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.16	0.16	0.01	1.03	1851.218
3	2	0.33	0.33	0.04	2.06	5553.655
4	3	0.49	0.49	0.07	3.09	9256.091
5	4	0.66	0.66	0.09	4.11	12958.528
6	5	0.82	0.82	0.12	5.14	16660.964
7	6	0.99	0.99	0.15	6.17	20363.401
8	6.09	1.00	1.00	0.01	6.26	1950.364
9	7	1.15	0.79	0.13	4.96	18433.480
10	8	1.31	0.60	0.11	3.77	15714.444
11	9	1.48	0.45	0.09	2.82	11863.979
12	10	1.64	0.33	0.06	2.07	8804.527
13	11	1.81	0.24	0.05	1.50	6428.837
14	12	1.97	0.17	0.03	1.07	4622.273
15	13	2.14	0.12	0.02	0.75	3274.729
16	14	2.30	0.08	0.02	0.52	2287.463
17	15	2.46	0.06	0.01	0.36	1576.248
18	16	2.63	0.04	0.01	0.24	1072.000
19	17	2.79	0.03	0.01	0.16	719.866
20	18	2.96	0.02	0.00	0.11	477.492
21	19	3.12	0.01	0.00	0.07	312.963
22	20	3.29	0.01	0.00	0.04	202.757
23	21	3.45	0.00	0.00	0.03	129.880
24	22	3.61	0.00	0.00	0.02	82.285
25	23	3.78	0.00	0.00	0.01	51.572
Jumlah				1.05		144730.00
Luas DAS (m ²)						144730000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C8-8 HSS ITB-2 DAS Bunta

Tabel C9-1 HSS ITS-2 DAS Bahomoleo

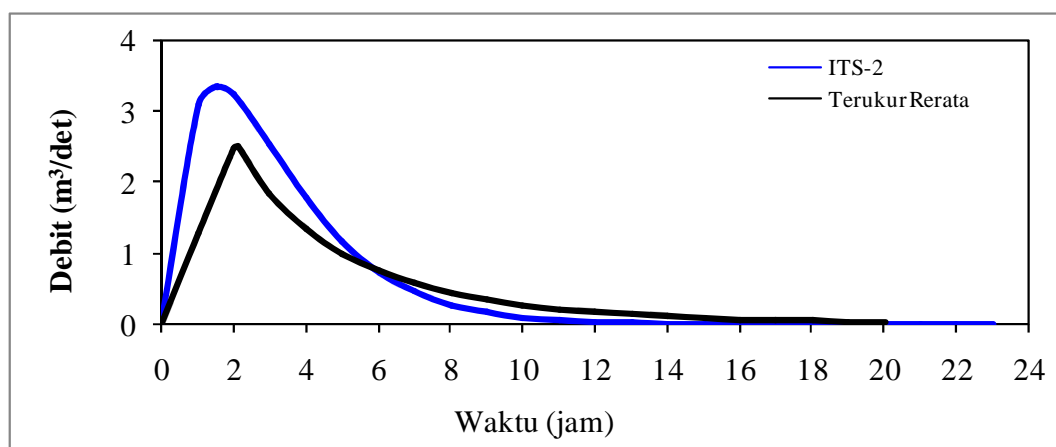
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.74	0.96	0.35	1.79	3223.661
3	1.36	1.00	1.00	0.26	1.87	2344.795
4	2	1.47	0.92	0.46	1.71	4150.907
5	3	2.21	0.66	0.58	1.23	5296.790
6	4	2.95	0.42	0.40	0.78	3624.074
7	5	3.69	0.25	0.25	0.47	2255.120
8	6	4.42	0.14	0.15	0.27	1328.205
9	7	5.16	0.08	0.08	0.15	754.674
10	8	5.90	0.04	0.05	0.08	418.076
11	9	6.64	0.02	0.02	0.04	227.288
12	10	7.37	0.01	0.01	0.02	121.782
13	11	8.11	0.01	0.01	0.01	64.501
14	12	8.85	0.00	0.00	0.01	33.842
15	13	9.59	0.00	0.00	0.00	17.617
16	14	10.32	0.00	0.00	0.00	9.111
17	15	11.06	0.00	0.00	0.00	4.685
18	16	11.80	0.00	0.00	0.00	2.398
19	17	12.54	0.00	0.00	0.00	1.222
20	18	13.27	0.00	0.00	0.00	0.620
21	19	14.01	0.00	0.00	0.00	0.314
22	20	14.75	0.00	0.00	0.00	0.158
23	21	15.49	0.00	0.00	0.00	0.080
24	22	16.22	0.00	0.00	0.00	0.040
25	23	16.96	0.00	0.00	0.00	0.020
Jumlah				2.62	23880.00	
Luas DAS (m ²)					23880000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-1 HSS ITS-2 DAS Bahomoleo

Tabel C9-2 HSS ITS-2 DAS Pinamula

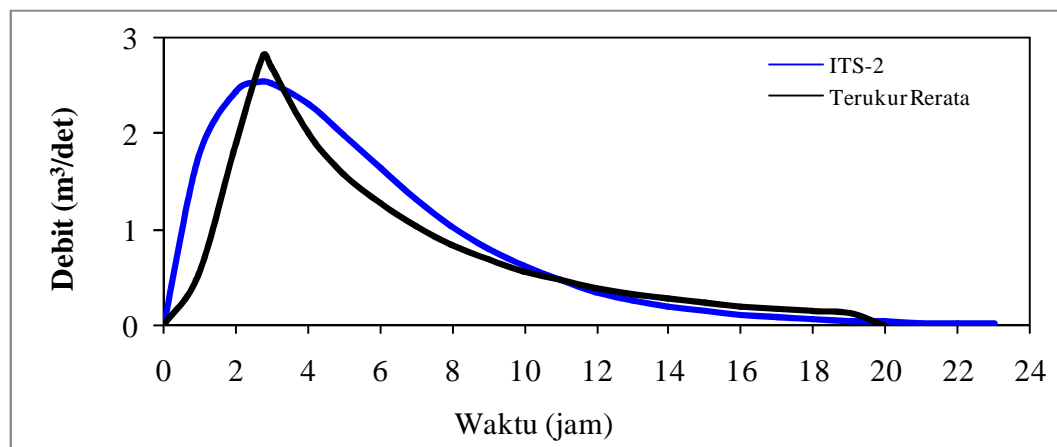
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.64	0.92	0.30	3.07	5531.787
3	1.55	1.00	1.00	0.34	3.34	6368.922
4	2	1.29	0.97	0.28	3.23	5301.678
5	3	1.93	0.76	0.56	2.54	10380.188
7	5	3.22	0.35	0.28	1.17	5300.342
8	6	3.87	0.22	0.18	0.73	3422.703
9	7	4.51	0.13	0.11	0.45	2132.829
10	8	5.16	0.08	0.07	0.27	1296.034
11	9	5.80	0.05	0.04	0.16	772.946
12	10	6.45	0.03	0.02	0.09	454.359
13	11	7.09	0.02	0.01	0.05	264.026
14	12	7.73	0.01	0.01	0.03	151.991
15	13	8.38	0.01	0.00	0.02	86.816
16	14	9.02	0.00	0.00	0.01	49.263
17	15	9.67	0.00	0.00	0.01	27.797
18	16	10.31	0.00	0.00	0.00	15.608
19	17	10.96	0.00	0.00	0.00	8.727
20	18	11.60	0.00	0.00	0.00	4.861
21	19	12.25	0.00	0.00	0.00	2.699
22	20	12.89	0.00	0.00	0.00	1.494
23	21	13.53	0.00	0.00	0.00	0.825
24	22	14.18	0.00	0.00	0.00	0.454
25	23	14.82	0.00	0.00	0.00	0.250
Jumlah				1.06	49350.00	
Luas DAS (m ²)					49350000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-2 HSS ITS-2 DAS Pinamula

Tabel C9-3 HSS ITS-2 DAS Toaya

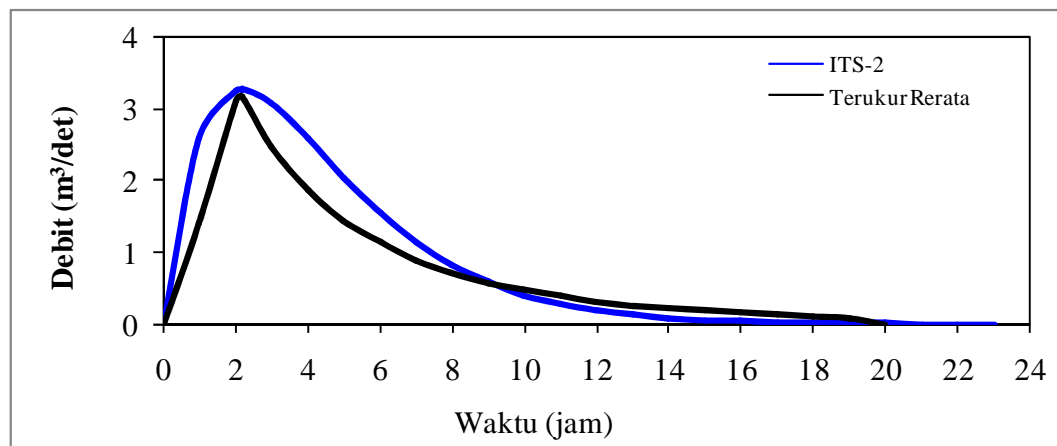
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.37	0.70	0.13	1.77	3185.103
3	2	0.75	0.96	0.31	2.43	7567.699
4	2.67	1.00	1.00	0.25	2.53	6022.014
5	3	1.12	0.99	0.12	2.51	2960.255
6	4	1.50	0.91	0.36	2.30	8671.476
7	5	1.87	0.78	0.32	1.98	7716.584
8	6	2.24	0.65	0.27	1.64	6513.369
9	7	2.62	0.52	0.22	1.31	5309.757
10	8	2.99	0.41	0.17	1.03	4223.134
11	9	3.37	0.32	0.14	0.80	3297.671
12	10	3.74	0.24	0.10	0.61	2538.587
13	11	4.11	0.18	0.08	0.46	1932.154
14	12	4.49	0.14	0.06	0.35	1457.013
15	13	4.86	0.10	0.04	0.26	1090.272
16	14	5.24	0.08	0.03	0.19	810.543
17	15	5.61	0.06	0.02	0.14	599.231
18	16	5.98	0.04	0.02	0.10	440.875
19	17	6.36	0.03	0.01	0.08	323.001
20	18	6.73	0.02	0.01	0.06	235.763
21	19	7.11	0.02	0.01	0.04	171.519
22	20	7.48	0.01	0.01	0.03	124.412
23	21	7.85	0.01	0.00	0.02	90.004
24	22	8.23	0.01	0.00	0.02	64.955
25	23	8.60	0.00	0.00	0.01	46.776
Jumlah				1.06	65510.00	
Luas DAS (m ²)					65510000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-3 HSS ITS-2 DAS Toaya

Tabel C9-4 HSS ITS-2 DAS Bangga

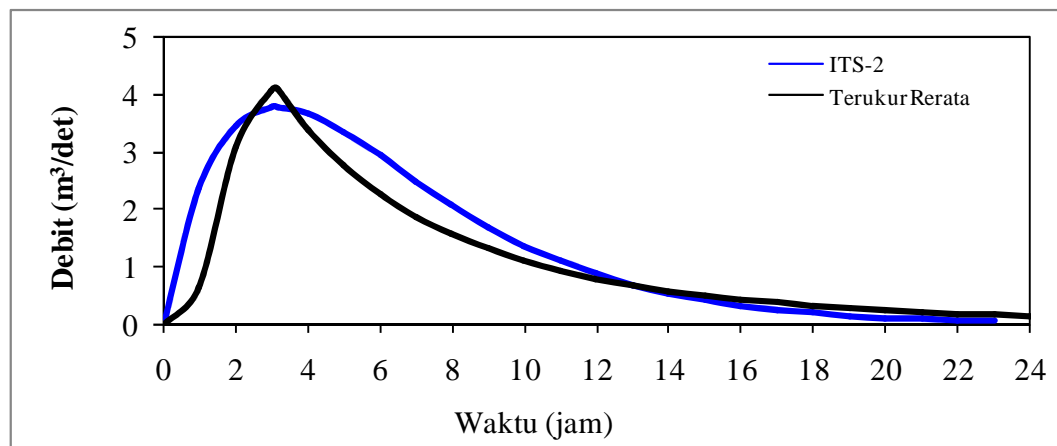
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.46	0.79	0.18	2.58	4639.407
3	2	0.92	1.00	0.41	3.25	10493.613
4	2.17	1.00	1.00	0.08	3.26	2007.852
5	3	1.38	0.94	0.37	3.08	9459.661
6	4	1.84	0.79	0.40	2.59	10200.995
7	5	2.30	0.63	0.33	2.04	8336.330
8	6	2.76	0.47	0.25	1.55	6458.512
9	7	3.22	0.35	0.19	1.14	4831.254
10	8	3.68	0.25	0.14	0.82	3525.396
11	9	4.15	0.18	0.10	0.58	2525.358
12	10	4.61	0.13	0.07	0.41	1783.280
13	11	5.07	0.09	0.05	0.28	1244.970
14	12	5.53	0.06	0.03	0.20	861.101
15	13	5.99	0.04	0.02	0.13	590.999
16	14	6.45	0.03	0.02	0.09	402.977
17	15	6.91	0.02	0.01	0.06	273.239
18	16	7.37	0.01	0.01	0.04	184.375
19	17	7.83	0.01	0.00	0.03	123.886
20	18	8.29	0.01	0.00	0.02	82.932
21	19	8.75	0.00	0.00	0.01	55.333
22	20	9.21	0.00	0.00	0.01	36.810
23	21	9.67	0.00	0.00	0.01	24.422
24	22	10.13	0.00	0.00	0.00	16.164
25	23	10.59	0.00	0.00	0.00	10.675
Jumlah				1.06		68190.00
Luas DAS (m ²)						68190000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C9-4 HSS ITS-2 DAS Bangga

Tabel C9-5 HSS ITS-2 DAS Singkoyo

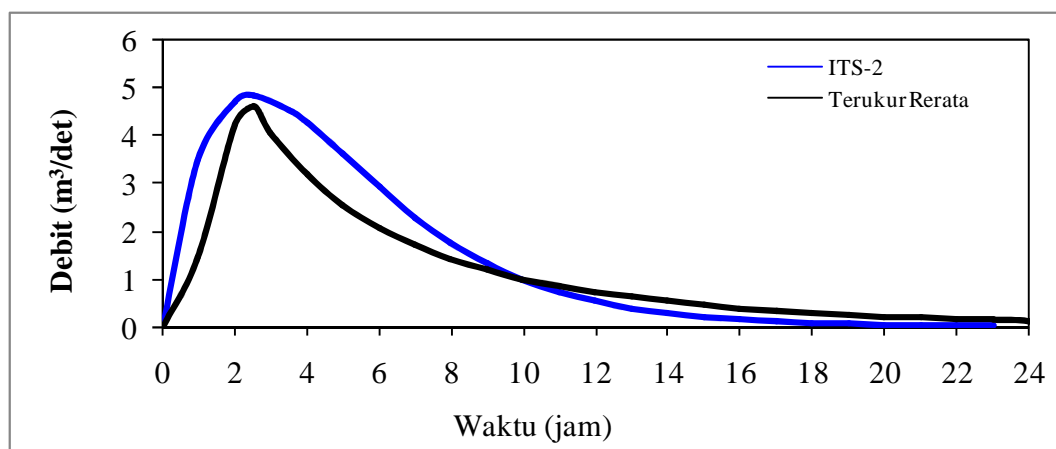
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.32	0.63	0.10	2.37	4270.714
3	2	0.63	0.91	0.24	3.46	10494.506
4	3	0.95	1.00	0.30	3.78	13026.328
5	3.16	1.00	1.00	0.05	3.78	2165.574
6	4	1.27	0.97	0.26	3.67	11285.658
7	5	1.58	0.88	0.29	3.34	12628.591
8	6	1.90	0.77	0.26	2.92	11283.114
9	7	2.22	0.66	0.23	2.49	9738.013
10	8	2.53	0.55	0.19	2.07	8200.682
11	9	2.85	0.45	0.16	1.70	6780.663
12	10	3.17	0.36	0.13	1.37	5527.481
13	11	3.48	0.29	0.10	1.10	4455.145
14	12	3.80	0.23	0.08	0.88	3557.782
15	13	4.12	0.18	0.07	0.69	2819.387
16	14	4.43	0.14	0.05	0.54	2219.761
17	15	4.75	0.11	0.04	0.42	1737.961
18	16	5.06	0.09	0.03	0.33	1354.194
19	17	5.38	0.07	0.02	0.25	1050.731
20	18	5.70	0.05	0.02	0.20	812.248
21	19	6.01	0.04	0.01	0.15	625.825
22	20	6.33	0.03	0.01	0.12	480.768
23	21	6.65	0.02	0.01	0.09	368.353
24	22	6.96	0.02	0.01	0.07	281.547
25	23	7.28	0.01	0.00	0.05	214.729
Jumlah				1.06	116050.00	
Luas DAS (m ²)					116050000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-5 HSS ITS-2 DAS Singkoyo

Tabel C9-6 HSS ITS-2 DAS Tambun

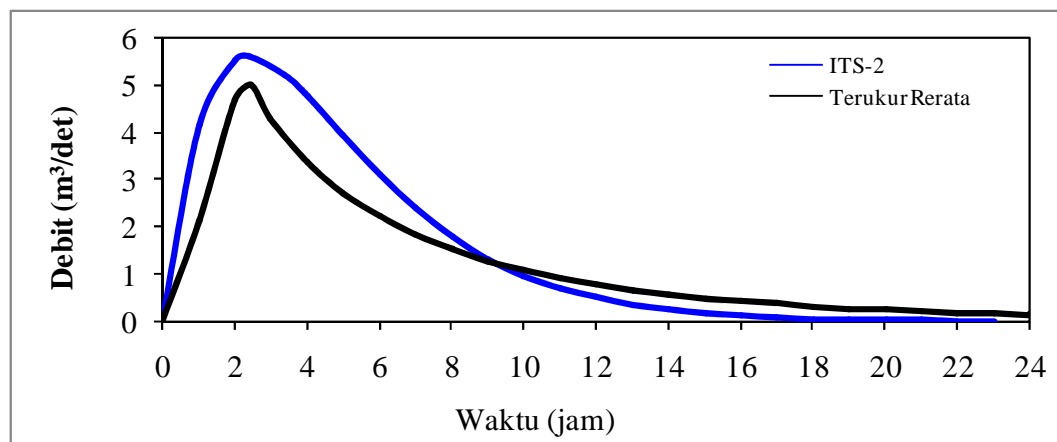
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.39	0.72	0.14	3.49	6277.586
3	2	0.79	0.97	0.33	4.70	14738.414
4	3	1.00	1.00	0.21	4.82	9148.873
5	3.53	1.39	0.94	0.38	4.53	16843.358
6	4	1.58	0.89	0.17	4.27	7389.242
7	5	1.97	0.75	0.32	3.60	14157.903
8	6	2.37	0.60	0.27	2.91	11708.006
9	7	2.76	0.47	0.21	2.29	9350.328
10	8	3.16	0.37	0.17	1.76	7285.260
11	9	3.55	0.28	0.13	1.34	5572.688
12	10	3.95	0.21	0.10	1.00	4202.322
13	11	4.34	0.15	0.07	0.74	3133.095
14	12	4.74	0.11	0.05	0.54	2314.333
15	13	5.13	0.08	0.04	0.40	1696.387
16	14	5.53	0.06	0.03	0.29	1235.354
17	15	5.92	0.04	0.02	0.21	894.610
18	16	6.31	0.03	0.01	0.15	644.729
19	17	6.71	0.02	0.01	0.11	462.685
20	18	7.10	0.02	0.01	0.08	330.809
21	19	7.50	0.01	0.01	0.05	235.740
22	20	7.89	0.01	0.00	0.04	167.496
23	21	8.29	0.01	0.00	0.03	118.691
24	22	8.68	0.00	0.00	0.02	83.906
25	23	9.08	0.00	0.00	0.01	59.185
Jumlah				1.06	118190.00	
Luas DAS (m ²)					118190000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-6 HSS ITS-2 DAS Tambun

Tabel C9-7 HSS ITS-2 DAS Malino

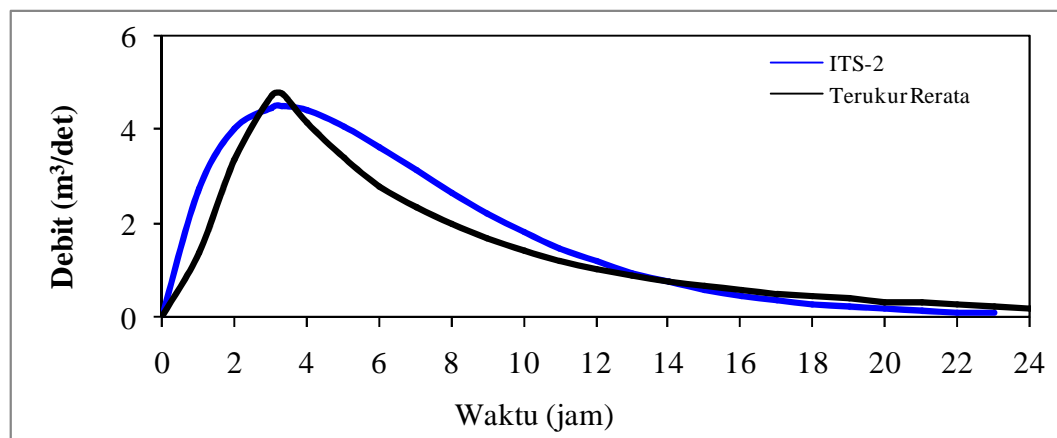
No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.42	0.75	0.16	4.17	7499.578
3	2	0.84	0.98	0.36	5.49	17376.407
4	2.39	1.00	1.00	0.16	5.57	7832.131
5	3	1.42	0.93	0.40	5.20	19390.546
6	4	1.67	0.85	0.23	4.76	10873.656
7	5	2.09	0.70	0.33	3.92	15615.762
8	6	2.51	0.56	0.26	3.10	12621.445
9	7	2.92	0.43	0.21	2.38	9851.065
10	8	3.34	0.32	0.16	1.79	7500.890
11	9	3.76	0.24	0.12	1.33	5607.015
12	10	4.18	0.17	0.09	0.97	4131.876
13	11	4.60	0.13	0.06	0.70	3010.348
14	12	5.01	0.09	0.05	0.50	2172.950
15	13	5.43	0.06	0.03	0.36	1556.419
16	14	5.85	0.05	0.02	0.26	1107.562
17	15	6.27	0.03	0.02	0.18	783.760
18	16	6.68	0.02	0.01	0.13	551.948
19	17	7.10	0.02	0.01	0.09	387.059
20	18	7.52	0.01	0.01	0.06	270.419
21	19	7.94	0.01	0.00	0.04	188.304
22	20	8.36	0.01	0.00	0.03	130.737
23	21	8.77	0.00	0.00	0.02	90.528
24	22	9.19	0.00	0.00	0.01	62.534
25	23	9.61	0.00	0.00	0.01	43.103
Jumlah				1.06		128750.00
Luas DAS (m ²)						128750000.00
Kontrol Tinggi Hujan (mm)						1.00



Gambar C9-7 HSS ITS-2 DAS Malino

Tabel C9-8 HSS ITS-2 DAS Bunta

No.	Waktu T (Jam)	$t =$ T/T_p	$q =$ Q/Q_p	Luas Kurva A_{hss} (m ²)	Debit Q (m ³ /det)	Volume V (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
2	1	0.30	0.61	0.09	2.73	4917.512
3	2	0.60	0.90	0.23	4.04	12188.109
4	3	0.91	1.00	0.29	4.48	15332.842
5	3.31	1.00	1.00	0.09	4.50	5010.903
6	4	1.21	0.98	0.21	4.41	11071.727
7	5	1.51	0.91	0.29	4.08	15290.092
8	6	1.81	0.80	0.26	3.62	13857.678
9	7	2.11	0.69	0.23	3.12	12132.715
10	8	2.42	0.59	0.19	2.64	10365.150
11	9	2.72	0.49	0.16	2.19	8694.475
12	10	3.02	0.40	0.13	1.80	7190.337
13	11	3.32	0.33	0.11	1.46	5879.473
14	12	3.63	0.26	0.09	1.18	4763.356
15	13	3.93	0.21	0.07	0.95	3829.550
16	14	4.23	0.17	0.06	0.75	3058.864
17	15	4.53	0.13	0.05	0.60	2429.720
18	16	4.83	0.10	0.04	0.47	1920.703
19	17	5.14	0.08	0.03	0.37	1511.941
20	18	5.44	0.06	0.02	0.29	1185.760
21	19	5.74	0.05	0.02	0.23	926.886
22	20	6.04	0.04	0.01	0.18	722.394
23	21	6.34	0.03	0.01	0.14	561.526
24	22	6.65	0.02	0.01	0.11	435.435
25	23	6.95	0.02	0.01	0.08	336.922
Jumlah				1.05	144730.00	
Luas DAS (m ²)					144730000.00	
Kontrol Tinggi Hujan (mm)					1.00	



Gambar C9-8 HSS ITS-2 DAS Bunta

LAMPIRAN D

BIODATA PENULIS



BIODATA PENULIS

1. Data Umum

- 1). Nama Lengkap : I Gede Tunas
- 2). TTL : Negara, 2 April 2 1975
- 3). Jenis Kelamin : Laki-Laki
- 4). Kartu Identitas : KTP : 7271030204750002
SIM : 750424210146
Passport : B2710985
NPWP : 88.938.397.2-831.000
- 5). Alamat : Jalan Sekunder Raya No. 31
Kel. Birobuli Selatan, Palu
Prov. Sulawesi Tengah–Indonesia
Kode Pos : 94114
Phone : 081341128001
WhatsApp : 082190291975
E-mail : tunasw@untad.ac.id,
tunasw@yahoo.com
tunasw1975@gmail.com
- 6). Pekerjaan : Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Univ. Tadulako
Palu
- 7). Pengutamaan : Rekayasa dan Manajemen Sumber Daya Air
- 8). Identitas Lainnya :
Scopus Author ID : 57192012247
Thomson Reuters Researcher ID : G-5758-2017
Open Research and Contributor ID : 0000-0001-5168-4455
Indonesian Publication Index (IPI) ID : 406827
Google Scholar ID : Iiqv504AAAAJ

2. Pendidikan

- 1). SDN Inpres 2 Suli di Kec. Parigi Kab. Donggala Provinsi Sulawesi Tengah, 1982-1988
- 2). SMP Negeri Tolai di Kec. Parigi Kab. Donggala Provinsi Sulawesi Tengah, 1988-1991,
- 3). SMA Negeri 3 Palu di Palu Prov. Sulawesi Tengah, Jurusan Ilmu-Ilmu Fisika (A1), 1991-1994
- 4). Program Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu, 1994-1999, 1 dari 4 Lulusan Terbaik dengan Predikat Sangat Memuaskan (IPK: 3.40)
- 5). Program Magister (S2) Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta, 2002-2004, Lulusan terbaik dengan Predikat Cum Laude (IPK: 4.00)

- 6). Program Doktor (S3) Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, 2014-sekarang

3. Seminar/Konferensi Ilmiah Nasional dan Internasional

- 1). Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Ke-32, Meningkatkan Ketahanan Air Nasional dalam Menunjang Kedaulatan Pangan, Ketahanan Energi dan Pengembangan Kemaritiman, 6-8 Nopember 2015, Malang-Indonesia, **sebagai Pemakalah**
- 2). The 5th International Seminar of Indonesian Association of Hydraulic Engineers (HATHI), *Water Resilience in a Changing World*, organized by Indonesian Association of Hydraulic Engineers (HATHI), July 29-31, 2016, Bali – Indonesia, **as Presenter**
- 3). The 2nd International Seminar on Science and Technology (ISST) 2016, *Empowering Research and Technology for Sustainable Infrastructure*, organized by Post Graduate Program, Department of Civil Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), August 2, 2016, Surabaya – Indonesia, **as Presenter**
- 4). The 3rd International Seminar on Infrastructure Development (ISID) 2016, *The Role of Infrastructure in MEA Implementation*, organized by Doctoral Study Program of Civil Engineering Department Hasanuddin University, September 22, 2016, Makassar – Indonesia, **as Presenter**

4. Publikasi dalam Jurnal Nasional dan Internasional

- 1). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar dan Umboro Lasminto, 2015, *Kinerja HSS Snyder, Nakayasu dan GAMA I Pada DAS Terukur di Sulawesi Tengah*, **Jurnal Teknik Sumber Daya Air**, vol. 1 no. 2 Juni 2015 Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia (HATHI), ISSN. 2407-1048 hal. 105-114
- 2). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, *Fractal Characteristic Analysis of Watershed as Variable of Synthetic Unit Hydrograph Model*, **The Open Civil Engineering Journal (TOCIEJ)**, vol. 10, pp.706-718, 2016, indexed on **Scopus Q3**, Microsoft Academic, Index Copernicus, Google Scholar, J-Gate, Genamics Journal Seek and Media Finder[®]-Standard Periodical Directory, DOI:10.2174/1874149501610010706, ISSN: 1874-1495
- 3). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, 2016, *Analisis of Main Morphometry Characteristic of Watershed and It's Effect to The Hydrograph Parameters*, **The Journal for Technology and Science (IPTEK)**, vol.28, no. 1, pp.30-36, 2017-indexed on Directory of Open Access Journals (DOAJ), Google Scholar, Cross Ref, Open Archive Initiatives (OAI), Bielefeld Academic Search Engine (BASE), IAES Section Journal, Portal Garuda and Infobase, DOI:10.12962/j20882033.v28i1.2220, ISSN: 2088-2033
- 4). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, *The Improvement of Synthetic Unit Hydrograph Performance by Adjusting Model*

Parameters for Flood Prediction, **International Journal of Engineering and Technology (IJET)**, vol. 9, no. 2, pp.847-858, 2017, indexed on **Scopus Q3**, Academic Search Complete (EBSCO), Google Scholar and CiteSeerX. DOI:10.21817/ijet/2017/v9i2/170902163, ISSN:0975-4024

- 5). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, *Synthetic Unit Hydrograph Model Based on Fractal Characteristics of Watersheds*, **International Journal of River Basin Management (JRBM)**, second review process after submission of manuscript revision, indexed on **Scopus Q2**, Emerging Sources Citation Index-ESCI (Web of Science Core Collection-Thomson Reuters), Microsoft Academic and Google Scholar. .ISSN: 1571-5124
- 6). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, *The Performance Comparison of Synthetic Unit Hydrograph Models Based on Observed Unit Hydrograph*, **Advances in Civil Engineering**, under review, indexed on **Scopus Q3**, Emerging Sources Citation Index-ESCI (Web of Science Core Collection-Thomson Reuters), Microsoft Academic, Directory of Open Access Journals (DOAJ), Index Copernicus, and Google Scholar. ISSN: 2455-3581

5. Publikasi dalam Prosiding Nasional dan Internasional

- 1). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar dan Umboro Lasminto, 2015, *Pemilihan Pola Distribusi Hujan Hipotetik Sebagai Masukan Model Hidrograf Satuan di Sungai*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia (HATHI) ke-32, ISBN. 978-979-9880-58-1 hal. 160-170
- 2). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, 2016, *Fractal Characteristic Analysis of Watershed Based on Geographical Information System*, Proceeding of The 5th International Seminar of HATHI (Indonesian Association of Hydraulic Engineers), ISBN. 978-602-6289-10-0, pp. 205-215
- 3). I Gede Tunas, Nadjadji Anwar and Umboro Lasminto, 2016, *Analysis of Dominant Rainfall Distribution Pattern for Flood Hydrograph Prediction*, Proceeding of The 3rd International Seminar on Infrastructure Development (ISID) 2016, ISBN. 978-602-72676-7-1, pp. 43-52.

6. Hibah Penelitian

- 1). Penelitian Disertasi Doktor, Karakteristik Fraktal Daerah Aliran Sungai dan Hidrograf Banjir Sebagai Variabel Model Hidrograf Satuan Sintetik, Dana Hibah Kementerian Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi.

7. Kegiatan Extra Selama Studi S3

- 1). Tim Teknis Pelaksana Kegiatan Penilaian Kerusakan dan Kerugian Pasca Bencana Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Palu Tahun 2016 dengan SK Kepala BPBD Kota Palu Nomor : 360/226.24/BPBD Tanggal 2 Mei 2016

- 2). Peserta Pendidikan dan Pelatihan Dasar-Dasar Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL A) Angkatan XXII Periode Maret 2016 yang diselenggarakan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup Universitas Hasanuddin tanggal 14 – 18 Maret 2016 di Palu
- 3). Pimpinan Sidang (Sekretaris) Lokashaba IV Parisada Hindu Dharma Indonesia (PHDI) Kota Palu dalam rangka Pemilihan Pengurus PHDI Kota Palu Masa Bhakti 2016-2021 yang diselenggarakan tanggal 13-14 Pebruari 2016 di Palu
- 4). Tim Uji Terima Pembangunan Gedung Rektorat STAH Dharma Sentana Sulawesi Tengah Tahap III (Perwakilan Independen sebagai Ketua Tim) Tahun 2015 dengan Surat Tugas Ketua STAH Dharma Sentana Sulawesi Tengah Nomor : STAH-DS/PP.00.9/328/2015 Tanggal 28 Desember 2015
- 5). Saksi Ahli Pada Pemeriksaan Kasus Dugaan Penyimpangan Pekerjaan Pembangunan Jaringan Air Bersih Pedesaan di Kecamatan Pagimana Kabupaten Banggai Tahun 2015 oleh Kejaksaan Negeri Luwuk Provinsi Sulawesi Tengah
- 6). Tim Teknis Pelaksana Kegiatan Penilaian Kerusakan dan Kerugian Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Palu Tahun 2015 dengan SK Walikota Palu Nomor : 360/394/BPBD/2015 Tanggal 27 Pebruari 2015

8. Penghargaan Selama Studi S3

- 1). Peserta Terbaik dengan Predikat Kelulusan A, Pendidikan dan Pelatihan Dasar-Dasar Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL A) Angkatan XXII Periode Maret 2016 yang diselenggarakan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup Universitas Hasanuddin tanggal 14 – 18 Maret 2016 di Palu
- 2). Artikel Terbaik (1 dari 10) pada Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Ke-32, Malang-Indonesia
- 3). The Best Paper (1 of 10) on The 5th International Seminar of Indonesian Association of Hydraulic Engineers (HATHI, July 29-31, 2016, Bali – Indonesia

9. Sertifikat Keahlian Profesi

- 1). Sertifikat Pendidik Dosen Profesional dari Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia dengan Nomor Registrasi 101102808156 Tanggal 5 Juli 2010
- 2). Sertifikat Keahlian (SKA) Ahli Madya Sumber Daya Air dari Ikatan Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO) dengan Nomor Registrasi (NRKA) 1084381 Tanggal 13 April 2015

10. Keanggotaan Profesi

- 1). Himpunan Ahli Teknik Hidraulika Indonesia (HATHI) dengan Nomor Registrasi Anggota: **166522**

- 2). International Association for Hydro-Environment and Research (IAHR) with ID Member: **50822**
- 3). International Association of Hydrological Sciences (IAHS) with ID Member: **16028**
- 4). International Water Association (IWA) with ID Member: **1608169**

Halaman ini sengaja dikosongkan

