

PRAKIRAAN DEBIT BANJIR RENCANA DALAM ANALISIS KAPASITAS TAMPUNG BANJIR KANAL BARAT, PROVINSI DKI JAKARTA

Nurita Yuniastiti

nuritayuniastiti@gmail.com

Muh. Aris Marfai

arismarfai@gadjahmada.edu

Abstract

The changes of land use in Jakarta and Ciliwung watershed provides an effect on flood discharge into Jakarta's West Floodway. The aim of this study was to predicted flood discharge to analysis the capacity of Jakarta's West Floodway. Analysis was conducted on the hidrologic analysis to determine the flood discharge plan with Rational method and hidraulic analysis with HEC-RAS version 4.1.0.

The results of this study indicated the flood discharge plan into the Jakarta's West Floodway are 703,14 m³/sec (2 years return period); 1.038,15 m³/sec (5 years return period) and 1.328,37 m³/sec (10 years return period). Capacities of the existing Jakarta's West Floodway is ineffective in addressing flood discharge or flow's pump system and little rivers in Jakarta in 10 years return period because the overflow discharge is amounted to 821,37 m³/sec in Manggarai Water Gate; 835,58 m³/sec in Karet Water Gate and 841,98 m³/sec in the estuary (Pantai Indah Kapuk).

Keywords : Jakarta's Western Flood Canal, Flood Discharge Prediction, Rational Method, Carrying Capacity, HEC – RAS 4.1.0

Abstrak

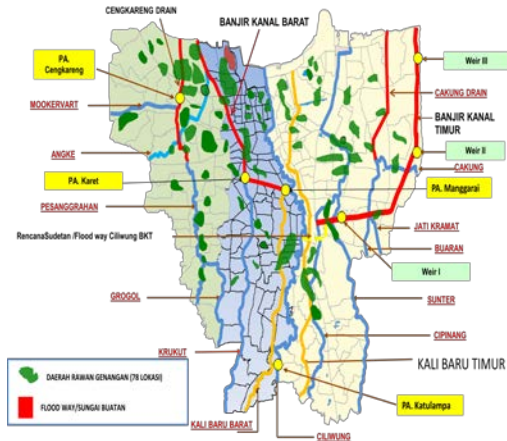
Perubahan tata guna lahan di Jakarta dan DAS Ciliwung berpengaruh terhadap debit banjir Banjir Kanal Barat Jakarta. Maka dalam penelitian ini dilakukan prakiraan debit banjir rencana dalam analisis kapasitas tampung Banjir Kanal Barat Jakarta dengan analisis hidrologi untuk mengetahui besaran debit banjir rencana dengan metode Rasional dan analisis hidraulika dengan program HEC–RAS versi 4.1.0.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa debit banjir rencana yang masuk ke Banjir Kanal Barat Jakarta adalah sebesar 703,14 m³/detik (periode ulang 2 tahun), 1.038,15 m³/detik (periode ulang 5 tahun) dan 1.328,37 m³/detik (periode ulang 10 tahun). Disamping itu, kapasitas tampung eksisting Banjir Kanal Barat Jakarta tidak efektif dalam mengatasi debit banjir atau debit aliran dari pompa–pompa dan sungai–sungai kecil di Jakarta dalam periode ulang 10 tahun akibat terjadi impahan debit sebesar 821,37 m³/detik di Pintu Air Manggarai, 835,58 m³/detik di Pintu Air Karet dan 841,98 m³/detik di Muara (Pantai Indah Kapuk).

Kata Kunci : Banjir Kanal Barat Jakarta, Intensitas Hujan, Tata Guna Lahan, Debit Rencana, Kapasitas Tampung.

PENDAHULUAN

Pembangunan Banjir Kanal Barat (BKB) merupakan ide ahli tata kelola air, Herman van Breen, untuk melindungi kawasan Kota dari banjir dan mengalirkan debit banjir 100 tahunan yang datang dari Sungai Ciliwung, kali-kali kecil di sekitarnya serta beberapa stasiun pompa (Gambar 1). Pintu Air Karet dan Pintu Air Manggarai adalah bangunan yang difungsikan sebagai pengaturan aliran dan debit air.



Gambar 1. Tiga Belas (13) Aliran Sungai di Wilayah Provinsi DKI Jakarta
(Sumber : BBWS Ciliwung Cisadane)

Pada tahun 1996, 2002 dan 2007, BKB jebol di beberapa titik karena tidak mampu menahan gerusan dan beban gaya karena adanya peningkatan debit banjir yang mengakibatkan daerah di sekitarnya menjadi tergenang oleh air yang meluap, sehingga diadakan proyek revitalisasi BKB oleh Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum untuk mengalirkan air Sungai Ciliwung ke BKB secara optimal pada tahun 2007–2009. Namun upaya tersebut belum dapat mengembalikan fungsi BKB dalam mengalirkan debit aliran (banjir) dengan baik. Oleh karena itu, diperlukan analisis kapasitas BKB dalam menampung debit banjir rancangan dalam beberapa periode ulang dan sistem aliran lainnya.

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis debit banjir rencana yang masuk ke Banjir Kanal Barat periode ulang 2, 5 dan 10 tahun
2. Menganalisis kemampuan kapasitas eksisting Banjir Kanal Barat Jakarta dalam menampung debit banjir rancangan periode ulang 10 tahun dan sistem aliran lainnya.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Tabel 1. Data yang Dikumpulkan

No	Jenis	Data	Sumber Data
1.	Primer	Dokumentasi lokasi dan kondisi beberapa titik Banjir Kanal Barat	Hasil Observasi (Kamera digital)
		Studi pustaka pendukung penelitian	Studi Literatur
2.	Sekunder	Curah hujan beberapa pos hujan sekitar daerah penelitian	Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika Jakarta
		Geometri sistem aliran Banjir Kanal Barat	Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung Cisadane
		Hidrolika (pasang surut laut)	
		Kondisi eksisting Banjir Kanal Barat	
		Peta lokasi banjir Provinsi DKI Jakarta tahun 1996 dan 2002	
		Peta topografi DAS Ciliwung	
		Peta penggunaan lahan DAS Ciliwung (referensi klasifikasi penggunaan lahan)	
Citra satelit Landsat 7 path 122; row 64 dan 65; tahun 2000 dan 2010	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN		

Pengolahan dan Analisis Data

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan besaran hujan dan debit banjir rancangan.

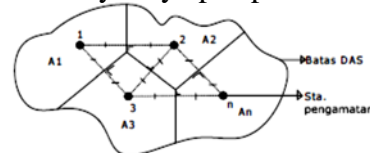
Analisis Distribusi Curah Hujan

Curah hujan diperlukan untuk perhitungan debit banjir rencana yang memerlukan besaran hujan wilayah dari rerata curah hujan dengan metode Poligon Thiessen (Gambar 2) dengan rumus (Soemarto, 1995) :

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- \bar{R} = curah hujan rata-rata (mm),
- R_1, R_2, R_n = curah hujan pos hujan 1, 2, ..., n (mm),
- A_1, A_2, A_n = luas areal poligon 1, 2, ..., n (km^2),
- n = banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2. Metode Poligon Thiessen

(Sumber : Harto, 1993)

Pelengkapan data curah hujan tahunan yang hilang atau tidak tercatat oleh pencatat curah hujan BMKG, dapat menggunakan metode regresi linear $y = a + bx$.

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi didasarkan pada sifat statistik data lampau. Pengurutan data hujan harian maksimum dilakukan sesuai peringkatnya (*ascending order*) dan analisis hujan harian maksimum dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

P = peluang terjadinya curah hujan tertentu

m = peringkat data (dari besar ke kecil)

n = banyaknya data atau jumlah kejadian.

Cara menentukan jenis distribusi curah hujan adalah sebagai berikut :

a. Analitis, yaitu pengukuran dispersi (Tabel 2).

Tabel 2. Pedoman Pemilihan Jenis Sebaran

Parameter	Rumus	Keterangan
Nilai Rata - Rata	$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n}$	\bar{x} = nilai rata - rata curah hujan (mm/hari) X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan
Deviasi Standar	$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}$	S = deviasi standar curah hujan \bar{x} = nilai rata - rata curah hujan (mm/hari) X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan
Koefisien Variansi	$Cv = \frac{S}{\bar{x}}$	Cv = koefisien varian S = deviasi standar curah hujan \bar{x} = nilai rata - rata curah hujan (mm/hari)
Koefisien Skewness	$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$	Cs = koefisien skewness X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i (mm/hari) \bar{x} = nilai rata - rata curah hujan (mm/hari) n = jumlah data curah hujan S = deviasi standar curah hujan
Koefisien kurtosis	$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^4$	Ck = koefisien kurtosis curah hujan X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke- i (mm/hari) \bar{x} = nilai rata - rata curah hujan (mm/hari) n = jumlah data curah hujan S = deviasi standar curah hujan

Sumber : Soewarno, 1995

Pemilihan Jenis Sebaran

Setiap sifat statistik masing-masing data disesuaikan dengan jenis sebarannya (Tabel 3).

Tabel 3. Pedoman Pemilihan Jenis Sebaran

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$Cs \approx 0$
Log Normal	$Cs \approx 3Cv$ $Cs \geq 0$
Gumbel	$Cs \approx 1,4$ $Ck \approx 5,4$
Log Pearson III	Cs positif atau negatif, dan tidak memenuhi semua syarat diatas

Sumber : Harto, 1993

b. Grafis, yaitu pengeplotan data pada kertas grafik sesuai jenis distribusinya (Tabel 4).

Tabel 4. Pengeplotan Grafik

Jenis Distribusi	Jenis Kertas Grafik
Normal	Semilog
Log Normal	Log - log
Log Pearson III	Log - log
Gumbel	Gumbel

Sumber : Soemarto, 1995

Pembuatan garis teoritik untuk mengetahui kecenderungan distribusi R₂₄. Penentuan garis teoritik disesuaikan dengan jenis distribusi masing-masing sebagai berikut:

Tabel 5. Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Rumus	Keterangan
Normal	$X_T = X_{mean} + K_T S$	X_T = curah hujan rencana (mm/hari) X_{mean} = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) K_T = nilai K dari tabel reduksi Gauss S = standar deviasi
Log Normal	$X_T = X_{mean} + K_T S$	X_T = curah hujan rencana (mm/hari) X_{mean} = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) K_T = nilai K dari tabel reduksi Gauss S = standar deviasi
Gumbell	$X_T = X_{mean} + (S/Sn)(Y - \bar{Y}_n)$	X_T = curah hujan rencana (mm/hari) X_{mean} = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) S = standar deviasi \bar{Y}_n = reduced mean Sn = reduced standard deviasi Y = reduced variate
Log Pearson III	$X_T = X_{mean} + K_T S$	X_T = curah hujan rencana (mm/hari) X_{mean} = curah hujan maksimum rata - rata (mm/hari) K_T = nilai K distribusi Log Pearson III S = standar deviasi

Sumber : Soemarto, 1995

Pengujian Kecocokan Distribusi

Pengujian data dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

a. Chi Kuadrat

Pengujian menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data. (Soewarno, 1995)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

χ^2 = nilai Chi Kuadrat terhitung

Ef = jumlah data yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya

Of = jumlah data (pada kelas yang sama)

n = jumlah sub kelompok dalam satu grup

$$DK = K - (\alpha + 1) \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

DK = nilai derajat kebebasan

K = banyaknya kelas

α = banyaknya variabel uji Chi Kuadrat

b. Smirnov - Kolmogorov

Dengan membandingkan probabilitas untuk setiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ) tertentu. (Soemarto, 1995)

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P(xi)}{\Delta cr} \dots\dots\dots(5)$$

Pengukuran Intensitas Curah Hujan

Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan dinyatakan dalam kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi, yang dirumuskan dengan persamaan (Sosrodarsono, 1976) :

$$I = (R_{24}/24) + (24/T)^{23} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian (mm)

T = durasi hujan (jam)

Waktu konsentrasi (t_c) adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS. Salah satu metode prakiraan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yaitu:

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

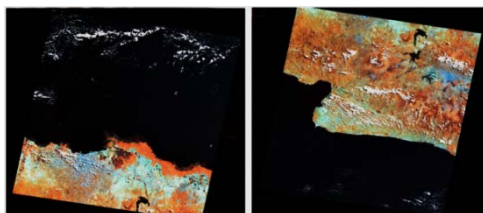
t_c = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang sungai (km)

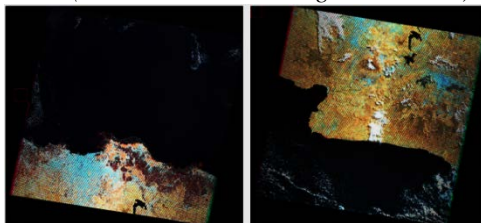
S = kemiringan sungai (m/m)

Pengolahan Data Digital dan Analisis Spasial

Analisa perubahan tata guna lahan berkonsentrasi di DAS Ciliwung. Pengolahan citra digital dan analisis spasial dilakukan dengan *software* ENVI 4.5, dan ArcGIS 10.1.



Gambar 3.Citra Satelit Landsat 7 Path/Row 122/64-65; Band 4,5,7 tahun 2000
(Sumber : Analisis dengan ENVI 4.5)



Gambar 4.Citra Satelit Landsat 7 Path/Row 122/64-65; Band 4,5,7 tahun 2010
(Sumber : Analisis dengan ENVI 4.5)

Klasifikasi tata guna lahan berdasarkan penetapan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7645:2010 skala 1:1.000.000. Perubahan tata guna lahan dipresentasikan setiap perubahan tata guna lahan dan pembobotan total luas lahan dengan persamaan (Sosrodarsono, 1976) :

$$Llp = La (1 + ia\%)^n \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

Llp = luas tata guna lahan proyeksi

La = luas tata guna lahan awal

Ia = persentase perubahan (%)

n = lama tahun proyeksi

Koefisien aliran permukaan (C) adalah nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan (Tabel 6).

Tabel 6. Koefisien Aliran Permukaan (C)

Jenis Lahan	Nilai C
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
Belukar	0,07
Hutan Tanaman Industri	0,05
Hutan Rawa Sekunder	0,15
Perkebunan	0,40
Pertanian Lahan Kering	0,10
Pertanian Lahan Kering Campur	0,10
Pemukiman	0,60
Sawah	0,15
Tambak	0,05
Terbuka	0,20
Perairan	0,05

Sumber : Kodoatie dan Syarif, 2008

Analisa Debit Banjir Rencana

Karena tidak tersedianya data debit banjir, maka cara debit banjir rencana dihitung dengan metode Rasional, dengan rumus (Suripin, 2004) :

$$Q = C I A \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

Q = debit banjir maksimum ($m^3/detik$),

C = koefisien limpasan air hujan,

I = intensitas hujan (mm/jam),

A = luas daerah pengaliran (km^2)

Analisis Hidraulika

Analisa hidraulika merupakan pengukuran penampang hasil revitalisasi Banjir Kanal Barat oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2009 dengan program HEC-RAS 4.1.0. Analisa ini dibantu dengan program AutoCAD 2014 untuk mengetahui data elevasi dan jarak kumulatif antar stasiun sebagai *input* data profil melintang (*cross section*). Disamping itu, untuk mengetahui jarak tepi bantaran kiri (*LOB*), saluran utama (*Channel*) dan tepi bantaran kanan (*ROB*) antar stasiun sebagai *input* data profil memanjang (*long section*).

Lima langkah penting dalam membuat model hidrolika menggunakan HEC-RAS, yaitu :

1. Memulai Pekerjaan Baru

Buka file menu dan pilih *New Project*. Nama file harus dengan ekstensi “.prj”. Kemudian tekan “OK” hingga muncul *message box*.

2. Memasukkan Data Geometri

Tentukan Sistem Satuan dengan memilih *Unit System* dari menu *Option*. Kemudian memasukkan data geometri dengan memilih *Geometric Data* pada menu *Edit*.

- Menggambar Skema Alur Saluran

Tekan tombol **River Reach** dan gambar alur dari hulu ke hilir (dalam arah positif). Setelah itu, masukkan nama saluran dan ruas (*reach*).

- Memasukkan Data Profil Melintang

Tekan tombol **Cross Section**. Setiap *cross section* memiliki nama saluran (*River*), ruas (*Reach*), *River Station* dan *Description*, untuk menggambarkan letak *cross section* tersebut pada sistem saluran (diurutkan dari nomor *river station* terbesar hingga terkecil).

3. Memasukkan Data Aliran Tetap

Pilih **Steady Flow Data** dari menu **Edit**.

- Data Aliran

Data aliran dimasukkan dalam tabel, dari hulu ke hilir. Setelah itu, tekan **Add Flow Change Location**.

- Kondisi Batas

Tekan tombol **Boundary Conditions**. Setelah semua data kondisi batas dimasukkan, tekan **OK** untuk kembali ke editor data *steady flow*. Tekan tombol **Apply Data** agar data diterima.

Dalam penelitian ini, batas bagian hulu berupa debit banjir rencana, sedangkan bagian hilir berupa fluktuasi air pasang surut yang merupakan elevasi muka air penting yang dihasilkan. Elevasi muka air dipilih salah satu sebagai acuan elevasi muka air rencana (Tabel 7).

Tabel 7. Elevasi Muka Air Penting

Elevisi Muka Air	Keterangan
Highest High Water Level (HHWL)	Air tertinggi saat pasang surut pumama atau bulan mati
Mean High Water Spring (MHWS)	Rata – rata muka air tinggi saat purnama
Mean High Water Level (MHWL)	Rerata dari muka air selama periode 19 tahun
Mean Sea Level (MSL)	Muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata
Mean Low Water Level (MLWL)	Rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun
Mean Low Water Spring (MLWS)	Rata – rata muka air rendah saat purnama
Lowest Low Water Level (LLWL)	Air terendah pada saat pasang surut pumama atau bulan mati

Sumber : Pethick, 1989

4. Menyimpan Data Aliran Tetap

Pilih **Safe Flow Data As** dari menu **File** pada editor data *steady flow*.

5. Melakukan Perhitungan

Tentukan data geometri dan aliran. Kemudian pilih resim aliran yang diinginkan. Pilih **Steady Flow Analysis** dari menu **Run**. Perhitungan dilakukan dengan menekan tombol **compute** pada jendela **Steady Flow Analysis**.

6. Menampilkan Hasil

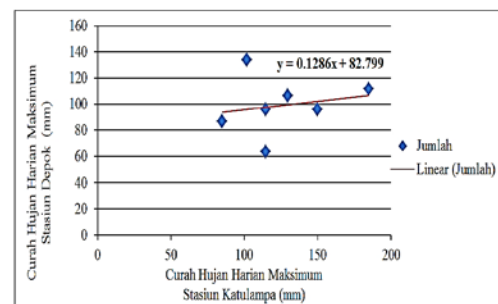
Pilih fitur pada menu **View**, terdiri dari plot *cross section*, plot profil, plot *rating curve*, plot

perspektif X-Y-Z, plot hidrograf, tabel lokasi tertentu dan tabel rekapitulasi profil, kesalahan, peringatan dan catatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

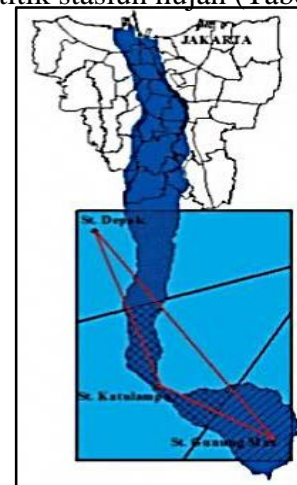
Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan harian setiap stasiun yang dijadikan curah hujan harian maksimum tahunan. Berdasarkan garis linear pada grafik persamaan pelengkapan data curah hujan (Gambar 4), curah hujan harian maksimum Stasiun Depok pada tahun 1998 adalah sebesar 98 mm dan tahun 1999 sebesar 96 mm. Data curah hujan maksimum tahunan yang telah lengkap disajikan pada Tabel 4.



Gambar 5. Grafik Pelengkapan Data Curah Hujan (Sumber : Data Curah Hujan Maksimum Harian)

Analisis Distribusi Curah Hujan

Analisis curah hujan rata-rata daerah dalam penelitian ini dihitung dengan metode Poligon Thiessen (Gambar 6). Luasan wilayah didapatkan berdasarkan penggambaran titik poligon antar titik stasiun hujan (Tabel 8)



Gambar 6. Pembagian Luasan Wilayah Hujan (Sumber : Posisi Koordinat Stasiun Hujan)

Tabel 8. Luas Wilayah Pengaruh Stasiun Hujan

Stasiun Hujan	Luas	
	Ha	km ²
Gunung Mas	9.972,44	99,72
Katulampa	8.045,92	80,46
Depok	7.765,43	77,65
Total	25.783,79	257,84

Sumber : Pembagian Luasan Wilayah Hujan
 Besarnya curah hujan wilayah DAS Ciliwung diperoleh dari hujan rerata dengan metode poligon *thiessen* pengaruh dari stasiun Gunung Mas, Katulampa dan Depok (Tabel 9).

Tabel 9. Curah Hujan Wilayah

Tahun	Curah Hujan Wilayah (mm)
1991	95
1992	125
1993	141
1994	98
1995	111
1996	133
1997	107
1998	107
1999	115
2000	114
2001	117
2002	150
2003	157
2004	145
2005	130
2006	97
2007	192
2008	143
2009	134
2010	120
2011	111
2012	115

Sumber : Data Curah Hujan Maksimum Tahunan

Analisis Frekuensi Curah Hujan

1. Cara Analitis

Hasil perhitungan parameter statistik distribusi curah hujan disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Parameter Statistik

Parameter	Nilai
Rata – Rata (\bar{X})	128
Deviasi Standar (S)	24,01626763
Koefisien Variansi (Cv)	0,188318832
Koefisien <i>Skewness</i> (Cs)	0,864894385
Koefisien kurtosis (Ck)	0,244788497

Sumber : Data Statistik Curah Hujan Maksimum Tahunan
 Hasil perhitungan parameter statistik tersebut menentukan bahwa jenis distribusi yang digunakan dalam analisis curah hujan rencana adalah Distribusi Log–Pearson III (Tabel 11).

Tabel 11. Syarat Penentuan Jenis Sebaran

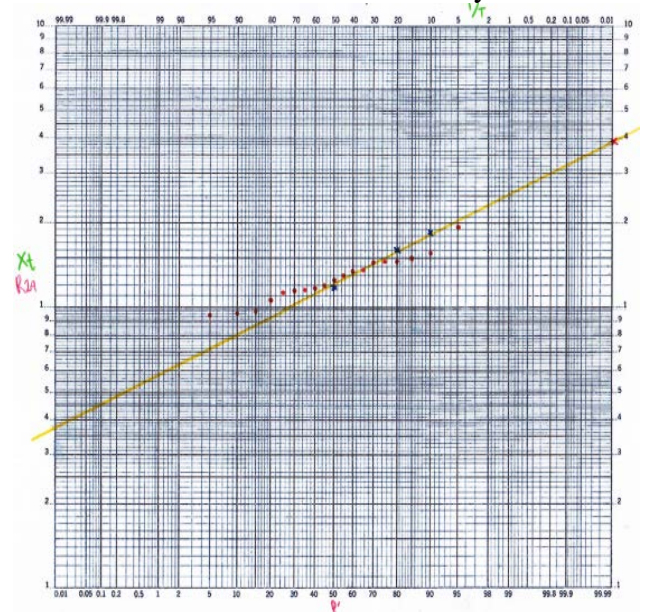
Jenis Sebaran	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	Cs \approx 0	Cs = 0,85	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs \approx 3Cv Cs \geq 0	Cs = 0,85	Tidak Memenuhi
Gumbel	Cs \approx 1,4 Ck \approx 5,4	Cs = 0,85 Ck = 0,24	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Cs positif atau negatif, dan tidak memenuhi semua syarat diatas	Cs = 0,85	Memenuhi

Sumber : Data Statistik dan Syarat Penentuan dalam Harto (1993)

2. Cara Grafis

Penentuan jenis distribusi dilakukan dengan *plotting* pada kertas probabilitas (Gambar 7), sehingga dapat dilihat sebaran yang cocok atau mendekati garis regresinya. Sebelum dilakukan penggambaran, data harus diurutkan dahulu dari kecil ke besar.

Titik–titik persamaan garis teoritik dilihat pada pembacaan sisi atas (dari 1/T) dan X_T pada ordinat. Setelah itu garis teoritik dihaluskan melalui titik – titik persamaan, sehingga terlihat titik–titik data yang menyimpang dari garis teoritik. Pengeplotan dilakukan untuk membuktikan analisis jenis distribusi Log Pearson III secara analitis sebelumnya.



Gambar 7. *Plotting* Data Hujan Maksimum dalam 24 Jam pada Kertas Probabilitas (Sumber : Pengeplotan Distribusi Curah Hujan)

Pengujian Kecocokan Distribusi

Pengujian parameter dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov–Kolmogorov (Tabel 12).

Tabel 12. Hasil Uji Kecocokan Distribusi

Uji Kecocokan	Nilai Tabel	Nilai Hitung
Uji Chi Square	5,991	0
Uji Smirnov - Kolmogorov	0,30	0,22

Sumber : Perbandingan Nilai Hitung dan Nilai Tabel
 Nilai tabel pada kedua kecocokan distribusi diatas lebih besar dibandingkan nilai hitung yang dihasilkan. Hal ini berarti bahwa distribusi pengamatan dan distribusi teoritis pola distribusi yang digunakan sudah tepat. Perhitungan curah hujan rencana (X_T) dengan metode Log Pearson III disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (T) (Tahun)	Probabilitas (1/T) (%)	K_T	X_T (mm)
2	50	-0,15	124,40
5	20	0,77	146,49
10	10	1,34	160,18

Sumber : Koefisien Kemencengan (Cs) Log Pearson III

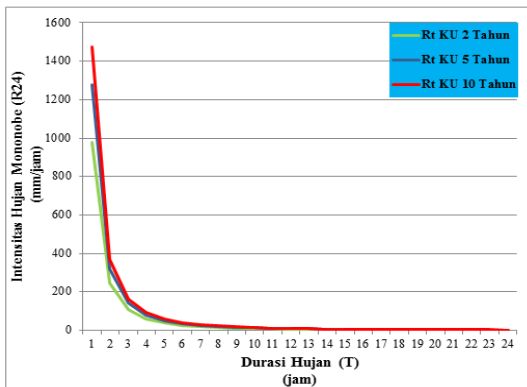
Intensitas Curah Hujan Rencana

Kurva IDF (*Intensity–Duration–Frequency*), dibuat berdasarkan data hasil analisis frekuensi dengan distribusi Log Pearson III (Gambar 8). Hasil perhitungan curah hujan maksimum dan intensitas hujan berdasarkan lamanya hujan dalam 24 jam disajikan pada Tabel 14.

Tabel 14. Intensitas Curah Hujan

Lamanya Hujan (Jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)		
	Periode Ulang 2 Tahun	Periode Ulang 5 Tahun	Periode Ulang 10 Tahun
1	976	1280	1472
2	244	320	368
3	108	142	164
4	61	80	92
5	39	51	59
6	27	36	41
7	20	26	30
8	15	20	23
9	12	16	18
10	10	13	15
11	8	11	12
12	7	9	10
13	6	8	9
14	5	7	8
15	4	6	7
16	4	5	6
17	3	4	5
18	3	4	5
19	3	4	4
20	2	3	4
21	2	3	3
22	2	3	3
23	2	2	3
24	2	2	3

Sumber : Perhitungan dengan Rumus Mononobe



Gambar 8. Kurva IDF

(Sumber : Data Intensitas Curah Hujan)

Analisis Proyeksi Tata Guna Lahan

Proyeksi tata guna lahan ditunjukkan dengan hubungan grafik antar data yang dikelompokkan dalam 5 kelompok besar klasifikasi tata guna lahan, dimana persentase bobot terhadap luas total sebagai sumbu y dan tahun yang diketahui datanya sebagai sumbu x. Grafik – grafik tiap jenis tata guna lahan tersebut dibuat trend untuk

dapat mengetahui proyeksi tata guna lahan yang diinginkan (Tabel 15).

Tabel 15. Proyeksi Tata Guna Lahan

Gambar	Keterangan
	Grafik Proyeksi Hutan Lahan Kering
	Grafik Proyeksi Hutan Lahan Basah
	Grafik Proyeksi Lahan Terbuka
	Grafik Proyeksi Lahan Terbangun
	Grafik Proyeksi Tubuh Air

Sumber : Luasan Tata Guna Lahan Tahun 2000 dan 2010

Pada kelas tata guna lahan terbangun terjadi peningkatan yang besar pada nilai C dari tahun 2010 ke tahun proyeksi, yang disebabkan oleh adanya penyusutan (hutan lahan kering, hutan lahan basah dan lahan terbuka) dan penambahan (lahan terbangun dan tubuh air) luas setiap jenis tata guna lahannya. Proyeksi tiap tata guna lahan dihitung berdasarkan persamaan pada grafik proyeksi tata guna lahan yang dihasilkan. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Proyeksi Tata Guna Lahan

No	Jenis Lahan	Luas (km ²)		Bobot (%) terhadap Luas Total		Proyeksi Bobot (%) terhadap Luas Total		
		Tahun 2000	Tahun 2010	Tahun		Tahun 2012	Tahun 2015	Tahun 2020
				2000	2010			
1	Hutan lahan kering	135,78	131,03	29,82	28,78	28,63	28,31	27,79
2	Hutan lahan basah	2,03	1,20	0,45	0,26	0,32	0,27	0,18
3	Lahan terbuka	76,69	47,19	16,84	10,36	9,12	7,18	3,94
4	Lahan terbangun	239,34	273,60	52,56	60,09	61,53	63,79	67,55
5	Tubuh air	1,49	2,32	0,33	0,51	0,53	0,58	0,67
Total		455,34	455,34	100	100	100	100	100

Sumber : Grafik Proyeksi Tata Guna Lahan Perhitungan Debit Banjir Rencana

a. Waktu Konsentrasi

Panjang aliran sungai = 116987 m = 117 km
 Elevasi tertinggi = 3000 m
 Elevasi terendah = 0 m
 Beda ketinggian (H) = 3000 – 0 = 3000 m
 Kemiringan sungai (S) = H/L
 = 3000/116987 = 0,03

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times 117^2}{1000 \times 0,0256} \right)^{0,385} = 10,64 \text{ jam}$$

b. Intensitas Hujan

- Periode ulang 2 tahun

$$I = \frac{122}{24} + \left[\frac{24}{10,64} \right]^{2/3} = 8,63 \text{ mm/jam}$$

- Periode ulang 5 tahun

$$I = \frac{160}{24} + \left[\frac{24}{10,64} \right]^{2/3} = 11,31 \text{ mm/jam}$$

- Periode ulang 10 tahun

$$I = \frac{184}{24} + \left[\frac{24}{10,64} \right]^{2/3} = 13,01 \text{ mm/jam}$$

c. Koefisien Aliran Permukaan Terbobot

Koefisien aliran permukaan terbobot (C_{terbobot}) DAS Ciliwung diperoleh dari nilai koefisien aliran permukaan (C) yang dikalikan dengan luasan setiap jenis pemanfaatan lahan tersebut (Tabel 17).

Tabel 17. Koefisien Aliran Permukaan Terbobot

No	Jenis Lahan	Nilai C	Tahun 2000		Tahun 2010		Tahun 2012	
			Luas (km ²)	C*A	Luas (km ²)	C*A	Luas (km ²)	C*A
1	Hutan lahan kering	0,03	135,78	4,01	131,03	3,93	130,35	3,87
2	Hutan lahan basah	0,15	2,03	0,31	1,20	0,18	1,47	0,18
3	Lahan terbuka	0,20	76,69	12,44	47,19	9,44	41,55	6,54
4	Lahan terbangun	0,60	239,34	153,71	273,60	164,16	280,17	174,27
5	Tubuh air	0,05	1,49	0,09	2,32	0,12	2,40	0,13
Total			455,34	455,34	455,34	455,34	455,34	
C_{terbobot}				0,359		0,391		0,396

Sumber : Koefisien Aliran Permukaan

Peningkatan debit banjir rencana berbanding lurus dengan bertambahnya nilai koefisien aliran permukaan terbobot dan intensitas curah hujan (Tabel 18). Debit banjir rencana tersebut merupakan faktor pengendali kapasitas tampung Banjir Kanal Barat (BKB).

Tabel 18. Debit Banjir Rencana DAS Ciliwung

No	Tahun Pengamatan	Periode Ulang (Tahun)	C_{terbobot}	I (mm/jam)	A (km ²)	Q (m ³ /detik)
1	2000	2	0,279	8,63	257,84	620,81
		5	0,319	11,31	257,84	930,25
		10	0,359	13,01	257,84	1.204,26
2	2010	2	0,311	8,63	257,84	690,99
		5	0,351	11,31	257,84	1.022,21
		10	0,391	13,01	257,84	1.310,04
3	2012	2	0,316	8,63	257,84	703,14
		5	0,356	11,31	257,84	1.038,15
		10	0,396	13,01	257,84	1.328,37

Sumber : Perhitungan Metode Rasional

Analisis Hidraulika

Manual

Kapasitas debit aliran Banjir Kanal Barat (BKB) yang digunakan sebagai dasar analisis debit banjir yang masuk ke BKB adalah berdasarkan data revitalisasi BKB tahun 2007–2009 oleh Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta. Dengan mengetahui kapasitas BKB dan sistem alirannya, maka dapat diketahui kapasitas dari BKB dalam menampung debit banjir yang masuk (Tabel 19).

Tabel 19. Debit Banjir Rencana (Q) Banjir Kanal Barat

Periode Ulang (Tahun)	Q (m ³ /detik)		
	Pintu Air Manggarai	Pintu Air Karet	Muara (Pantai Indah Kapuk)
2	703,14	944,35	1.235,75
5	1.038,15	1.279,36	1.570,76
10	1.328,37	1.569,58	1.860,98

Sumber : Debit Banjir Rencana dan Debit Aliran

Besarnya debit yang masuk ke Pintu Air Manggarai berasal dari perhitungan debit banjir rencana DAS Ciliwung. Kondisi di Pintu Air Karet dipengaruhi juga oleh adanya aliran limpasan debit dari Sungai Baru, Sungai Cideng, Pompa Setia Budi Timur, Pompa Setia Budi Barat, Pompa Melati dan Sungai Krukut, sedangkan Muara (Pantai Indah Kapuk) dipengaruhi juga oleh aliran debit dari Pompa Rawa Kepa, Pompa Pondok Bandung, Pompa Cideng, Pompa Siantar dan Sungai Angke.

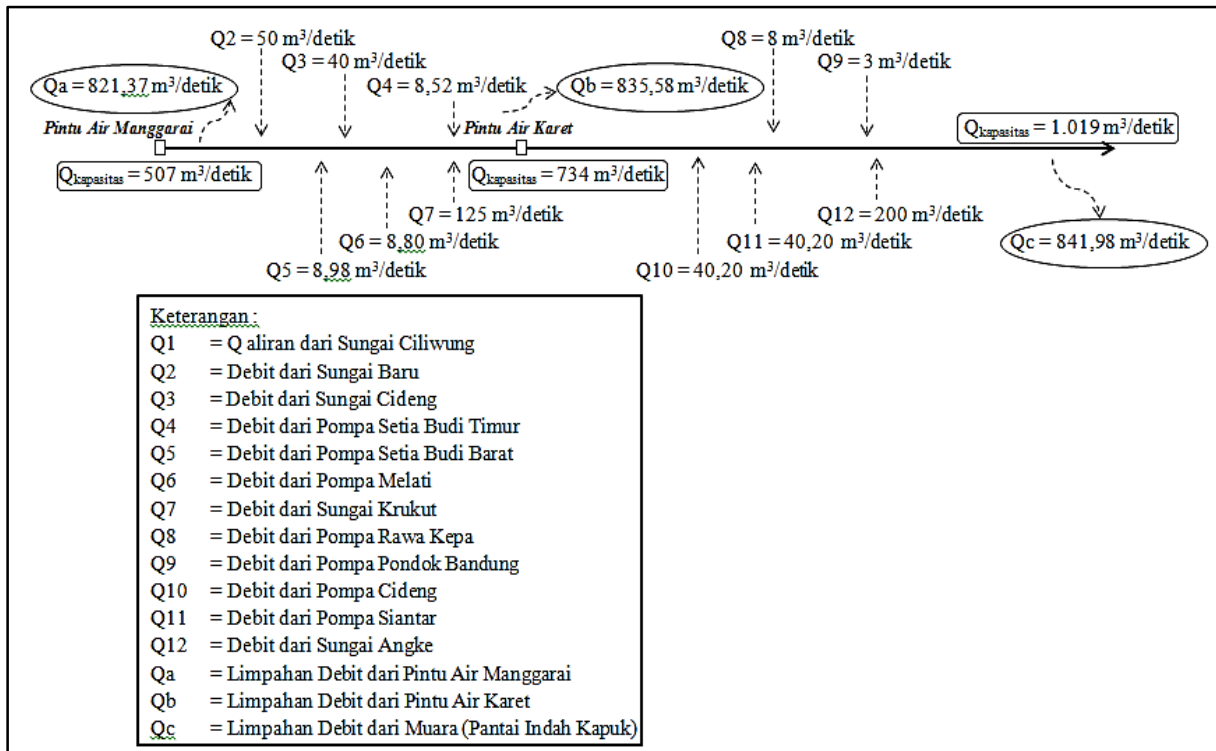
Tabel 20 menunjukkan bahwa debit banjir rencana yang masuk ke BKB pada tahun 2012 lebih besar dibandingkan kapasitas tampungnya atau dapat dikatakan terjadi kelebihan beban, baik di Pintu Air Manggarai, Pintu Air Karet dan Muara (Pantai Indah Kapuk).

Tabel 20. Kapasitas Tampung Banjir Kanal Barat Periode Ulang 10 Tahun

No	Lokasi	Q yang masuk ke BKB (m ³ /detik)	Q _{kapasitas} (m ³ /detik)	Devisiasi (m ³ /detik)	Deskripsi
1	Pintu Air Manggarai	1.328,37	507	821,37	Melimpah
2	Pintu Air Karet	1.569,58	734	835,58	Melimpah
3	Muara (Pantai Indah Kapuk)	1.860,98	1.019	841,98	Melimpah

Sumber : Kapasitas Tampung Banjir Kanal Barat

Secara skematis, sistem pengaliran Banjir Kanal Barat (BKB) Periode Ulang 10 Tahun berdasarkan tahun pengamatan (tahun 2012) disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema Sistem Pengaliran Banjir Kanal Barat Periode Ulang 10 Tahun

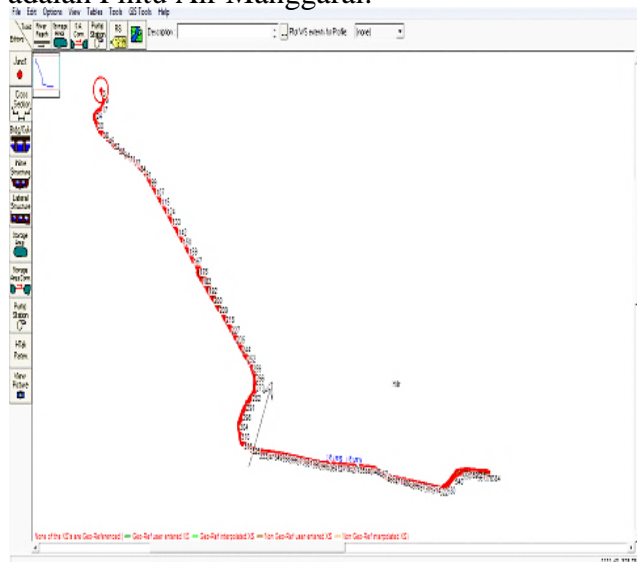
(Sumber : Hasil Analisis Hidrologi dan Hidraulika)

Program HEC - RAS versi 4.1.0

Data Masukan (Input)

Data Geometri

1. Menggambar alur BKB, yaitu sebanyak 584 titik pengamatan (Gambar 10), dimana *River Sta.1* adalah Muara (Pantai Indah Kapuk), *River Sta.324* adalah Pintu Air Karet dan *River Sta.584* adalah Pintu Air Manggarai.



Gambar 10. Gambar Alur Banjir Kanal Barat

(Sumber : Hasil Analisis Program HEC - RAS 4.1.0)

2. Memasukkan data melintang sungai, koefisien manning serta jarak antar tiap penampang

melintang (*cross section*) tanggul kiri (*LOB*), saluran utama (*channel*) dan tanggul kanan (*ROB*). Koefisien Manning BKB adalah sebesar 0,015 karena merupakan saluran terbuka dengan dasar dan dinding beton.

Data Aliran Tetap (*Steady Flow*)

1. Memasukkan nilai debit yang dihasilkan dari perhitungan debit metode Rasional, dengan inisial PF 1 (debit 2 tahun), PF 2 (debit 5 tahun) dan PF 3 (debit 10 tahun) (Gambar 4).

2. Memasukkan kondisi batas *downstream* dengan memilih ikon *Known W.S* karena muka air di hilir saluran telah diketahui, yaitu nilai *Mean Sea Level (MSL)* sebesar 0,6 m sebagai kondisi batas dan kemiringan sebesar 0,0003 sebagai kondisi batas *upstream*.

Eksekusi Data (*Running*)

Program melakukan simulasi aliran untuk aliran tetap (*steady flow*) sesuai data yang dimasukkan dan tipe aliran yang diinginkan yaitu aliran subkritis (*subcritical*). Selanjutnya program akan melakukan proses *running*.

Hasil (*Output*)

Hasil (*output*) program HEC-RAS 4.1.0 adalah gambar potongan melintang dan potongan memanjang (Tabel 21) serta dalam bentuk tabel yang disajikan pada Tabel 21.

Tabel 21. Output Program HEC - RAS 4.1.0

Gambar	Keterangan
	Cross Section River Sta.584
	Cross Section River Sta.324
	Cross Section River Sta.1
	Long Section Periode Ulang 2 Tahun
	Long Section Periode Ulang 5 Tahun
	Long Section Periode Ulang 10 Tahun

Sumber : Hasil Analisis Program HEC - RAS 4.1.0

Tabel 22. Output Program HEC - RAS 4.1.0

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Widht h (m)	Froude # Chl
Hilir	584	PF 1	703.14	-3.04	13.02		13.04	0.000003	0.64	1118.57	76.00	0.05
Hilir	584	PF 2	1038.15	-3.04	14.94		14.98	0.000005	0.84	1264.60	76.00	0.06
Hilir	584	PF 3	1328.37	-3.04	16.48		16.53	0.000006	0.99	1381.73	76.00	0.07
Hilir	324	PF 1	944.35	-0.86	12.88		12.96	0.000014	1.25	780.19	66.35	0.11
Hilir	324	PF 2	1279.36	-0.86	14.75		14.86	0.000016	1.47	903.99	66.35	0.13
Hilir	324	PF 3	1569.58	-0.86	16.25		16.38	0.000017	1.63	1003.34	66.35	0.13
Hilir	1	PF 1	1235.75	1.51	8.11	8.11	10.76	0.001611	7.21	171.32	32.38	1.00
Hilir	1	PF 2	1570.76	1.51	9.04	9.04	12.13	0.001617	7.79	201.56	32.89	1.00
Hilir	1	PF 3	1860.98	1.51	9.90	9.90	13.22	0.001548	8.09	231.70	38.61	0.98

Sumber : Hasil Analisis Program HEC -RAS

KESIMPULAN

1. Debit banjir rencana yang masuk ke Banjir Kanal Barat dalam periode 2, 5 dan 10 tahun adalah sebagai berikut :

- 2 tahun : 703,14 m³/detik
- 5 tahun : 1.038,15 m³/detik
- 10 tahun : 1.328,37 m³/detik

2. Perhitungan dan analisa debit banjir rencana menunjukkan bahwa kapasitas tampung eksisting Banjir Kanal Barat tidak efektif dalam mengatasi debit banjir atau aliran dari pompa-pompa dan sungai-sungai kecil di wilayah DKI Jakarta dalam periode ulang 10 tahun atau dapat dikatakan terjadi limpahan. Adapun limpahan debit yang terjadi di lokasi pengamatan adalah sebagai berikut :

- Pintu Air Manggarai : 821,37 m³/detik
- Pintu Air Karet : 835,58 m³/detik
- Pantai Indah Kapuk : 841,98 m³/detik

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2010). *Standar Nasional Indonesia Klasifikasi Penutup Lahan SNI 7645 : 2010*. Jakarta : BSN.
- Kirpich, T. P. (1940). *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*. Civil Engineering, 10(6), 362.
- Kodoatie, Robert, J. dan Sjarief, Roestam (2008). *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta : Andi.
- Novriansyah, Eko (2008). Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Efektivitas Banjir Kanal Barat. *Skripsi SI*. Jakarta : Departemen Teknik Sipil UI.
- Pethick, J. (1989). *An Introduction to Coastal Geomorphology*. London : Edward Arnold.
- Sri Harto Br., (1993). *Analisa Hidrologi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Soemarto, CD (1995). *Hidrologi Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Soewarno (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung : Penerbit Nova.
- Sosrodarsono, Suyono (1976). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (2004). *User's Manual, HEC-RAS River Analysis System*. California : Davis.