

## MODEL HIDROLOGI DAS ITN I

Kustamar<sup>1)</sup>, Erni Yulianti<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Teknik Pengairan, FTSP, ITN Malang  
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Malang  
E-mail : kustamar@yahoo.co.id

<sup>2)</sup> Dosen Teknik Pengairan, FTSP, ITN Malang  
Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Malang  
E-mail : ernibuyung@yahoo.co.id

Diterima : 14 Mei 2008; Disetujui : 13 Pebruari 2009

### Abstract

*Physical spatial factors of watershed such as topography, soil types and land use show a prominent contribution in the distributed water shed modeling. One of the difficulties encountered is the change of topographical information in map form into data that can be read by model program. In the process of analyses, physical spatial factor of water shed is divided into grid system consisting of rectangular cells groups. In each cell, surface run off discharge, including its direction, is determined based on the depths by applying a one dimension unsteady flow concept whereas direction is determined by using information on four points of the cells. Water depth of the surface run off can be calculated by using both a vertical water movement model and land use area condition. The model has been tested using the available data of Lesti (East Java) watershed. From calibration and verification processes, this so called Hydrological Model of ITN I has been successfully applied with very good reliability.*

**Keywords:** *Catchment Area Hydrology Model, surface run-off, discharge.*

## PENDAHULUAN

### 1 Latar Belakang

Bencana banjir pada musim hujan diprediksi masih terus berlangsung dengan dampak yang sulit dikendalikan. Akurasi hasil prediksi puncak banjir mempunyai peran yang sangat penting dalam manajemen pengendalian banjir. Dalam proses alih dari ragam hujan menjadi aliran sungai (banjir), pada setiap fase perubahannya dipengaruhi berbagai faktor yang saling terkait.

Beberapa faktor utama yang dimaksud meliputi: intensitas dan durasi hujan, bentuk DAS, kerapatan sistem drainase, topografi, tekstur dan kepadatan tanah, permukaan air tanah, dan kondisi penggunaan lahan (Asdak, 1995; Kustamar, 2007).

Faktor-faktor tersebut berpengaruh antara lain dalam bentuk: intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, limpasan permukaan, dan aliran air tanah. Oleh karena rumitnya proses alih dari ragam hujan menjadi aliran di sungai tersebut, maka

untuk menganalisanya diperlukan model. Model tersebut hendaknya berjenis konseptual-terdistribusi, untuk mengatasi kendala varian spasial: sebaran hujan, topografi, penggunaan lahan, bentuk dan ukuran DAS, serta kerapatan sistem drainase.

Berbagai model hidrologi telah dibangun, baik yang berjenis terdistribusi (*distributed*) maupun kempal (*lumped*) (Singh, 2002). Kemampuan model-model tersebut bervariasi, mulai dari menghitung debit limpasan permukaan, aliran air tanah, hidrograf debit sungai, hingga erosi permukaan. Model inti dari seluruh model tersebut adalah model hidrologi DAS, yang berfungsi menghitung debit sungai akibat adanya hujan.

Akurasi hasil prediksi selain ditentukan oleh kemampuan model, juga dipengaruhi oleh: kesesuaian antar model dengan masalah yang dihadapi, ketelitian data masukan, dan kemampuan penggunaannya. Model yang dikembangkan dengan prototip permasalahan di Indonesia masih sulit diperoleh, oleh karenanya

dipandang perlu dibangun model yang sesuai. Penelitian ini merupakan embrio dari sebuah model hidrologi DAS, yang akan dikembangkan secara bertahap di ITN Malang.

Dalam penelitian ini dikembangkan model hidrologi DAS dengan fokus meningkatkan akurasi prediksi debit, dengan jalan memperkuat skema numerik yang digunakan dan penggunaan masukan data topografi dalam format yang terbaru.

Kesulitan terbesar yang harus dihadapi dalam penelitian ini adalah bagaimana merubah data topografi tersebut ke dalam bentuk digital dan berformat ASCII, sehingga dapat dibaca program.

Seiring dengan kemajuan proses pemetaan topografi, saat ini telah banyak tersedia peta topografi digital maupun data elevasi permukaan lahan berupa Digital Elevation Model (DEM). Dengan berkembangnya sistem komputasi, sudah sangat memungkinkan untuk merubah peta digital dan DEM ke dalam format ASCII.

Sebagai prototipe permasalahan dan sarana uji kemampuan model dipilih data lapangan dari DAS Lesti, yang secara administratif berada pada Kabupaten Malang, Jawa Timur.

## 2 Maksud Dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini ialah mengembangkan model debit limpasan permukaan dengan memanfaatkan peta topografi digital, untuk mendapatkan sistem sungai sintetis.

Tujuan penelitian ialah menghasilkan model hidrologi DAS berjenis terdistribusi yang dapat digunakan untuk menghitung debit limpasan permukaan pada suatu DAS, dengan masukan peta topografi digital. Model dapat digunakan untuk memprediksi besarnya debit banjir akibat perubahan kondisi penggunaan lahan.

## 3 Lokasi Penelitian

Dengan mempertimbangkan kedekatan lokasi dan dukungan data-data yang ada, maka sebagai prototip penelitian dipilih DAS Lesti (Gambar 1). DAS Lesti merupakan bagian dari DAS Brantas, terletak pada wilayah administrasi Kabupaten Malang. Sungai Lesti bermuara di Waduk Sengguruh.

Pada DAS Lesti terdapat 3 (tiga) stasiun pengukur hujan otomatis dan 1 (satu) stasiun pengukur muka air otomatis.

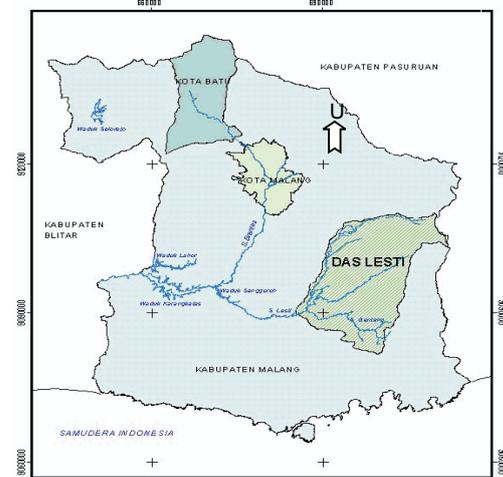
Topografi dan jenis penggunaan lahan

diperoleh dari peta rupa bumi, sedangkan kondisi terbarunya dari citra satelit.

## KAJIAN PUSTAKA

### 1 Model Hidrologi DAS

Istilah "hidrologi DAS" didefinisikan sebagai cabang hidrologi yang berhubungan dengan pengintegrasian proses hidrologis di dalam DAS dalam kaitannya dengan sifat responsif suatu DAS. Proses hidrologis dan ketidakseragaman spasialnya diperlihatkan oleh iklim, topografi, geologi, lahan, tumbuh-tumbuhan, dan penggunaan lahan.



Gambar 1 Lokasi DAS Lesti

Perkembangan model hidrologi DAS berlangsung sangat cepat, baik dalam hal jumlah, konsep pendekatan masalah, maupun teknik analisa data. Hal tersebut tentunya sangat berkaitan dengan berkembangnya sistem komputasi data, dan teknik akuisisi data. Berdasarkan data yang terdokumentasi, dalam tinjauan penanganan variabilitas spasial data, model hidrologi DAS dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu: terdistribusi (*distributed*), agak terdistribusi (*semi-distributed*) dan kempal (*lumped*).

Model berjenis kempal, memandang suatu DAS sebagai satu kesatuan, dan oleh karenanya tidak memperhitungkan variasi spasial baik dalam proses, input, kondisi batas, maupun terhadap besaran hidrologisnya. Sebaliknya, model berjenis terdistribusi, sesuai untuk menangani

variabilitas spasial baik dalam hal fisik DAS maupun unsur hidrologisnya dengan penyelesaian persamaan untuk masing-masing kelompok data atau grid.

Model berjenis terdistribusi sesuai untuk menangani kondisi DAS yang kompleks dengan konsekuensi diperlukan data masukan yang sangat banyak, sedangkan model yang berjenis kempal bersifat sebaliknya. Untuk mereduksi jumlah kebutuhan data masukan tersebut, selanjutnya dikembangkan model berjenis semi-terdistribusi

(*Semi-Distributed*).

Ringkasan dari deskripsi masing-masing model hidrologi DAS terdistribusi disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 diperoleh catatan bahwa mayoritas model merupakan gabungan dari model limpasan permukaan dan aliran air tanah, serta mencakup parameter: intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan, dan aliran air tanah. Hal tersebut sesuai dengan tujuan pemodelan, yaitu memprediksi debit sungai dan atau erosi permukaan dari sebuah DAS akibat hujan.

Tabel 1 Rangkuman Deskripsi Model Hidrologi DAS berjenis Terdistribusi

| No | Identitas Model   | Komponen dan Pendekatan Konsep  | Kemampuan   |
|----|---|---|---|
| 1  | SWAT (Soil and Water Assessment Tool)   | 1) Hidrologi, dan <i>Biogeochemistry</i> dengan konsep <i>water-balance</i> .<br>2) Limpasan permukaan dengan persamaan SCS.  | Prediksi efek perubahan cuaca & vegetasi. Manajemen waduk.  |
| 2  | TOPOG_IRM (CSIRO AUSTRALIA) Short <i>et al.</i> (1990) dalam Singh <i>et al.</i> , 2002                                 | 1) Transpirasi, infiltrasi dan Limp. Permukaan.<br>2) Keseimbangan karbon tanaman, dengan simulasi tumbuh tanaman   | Prediksi interaksi dinamik antara tanah-vegetasi-atmosfer pada DAS  |
| 3  | FRHYMAP (Flood Risk and Hydrological MAPping) CREBS <i>et al.</i> (2001)  | Model Hidrologi, dan hidraulika:<br>1) Limpasan permukaan (2-D),<br>2) Imbuhan air tanah, Evapotranspirasi potensial jam-jaman, dengan Penman-Monteith.   | Prediksi pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir, dan air tanah.                                |
| 4  | SHAL Zimmermann <i>et al.</i> (1995) dalam Singh <i>et al.</i> (2002)   | 1) Hujan, Evapotranspirasi,<br>2) Tampungan permukaan, infiltrasi,<br>3) Limpasan permukaan 2-D, Perkolasi.   | Analisa hidrograf jam-jaman, dan profil muka air maksimum.  |
| 5  | SWM (Soil and Water Integrated Model) Krysanova, <i>et al.</i> (1993) dalam Hattermann <i>et al.</i> (2002)             | 1) Limpasan permukaan dengan metode SCS<br>2) Aliran lateral air tanah dengan <i>Cinematic storage model</i> ;<br>3) Aliran antar subbasin dengan <i>Flood Routing Muskingum</i>                      | Simulasi siklus hidrologi, erosi, pertumbuhan vegetasi, dan transportasi unsur hara.                              |
| 6  | PRMS (Precipitation Runoff Modeling System) U. S. Geological Survey (CREBS <i>et al.</i> , 2001)                        | 1) Intersepsi, Evapotranspirasi, Aliran air di atas dan bawah permukaan dengan routing Non-linier, DAS dibagi dalam HRU.<br>2) SIG untuk: menampilkan data spasial dalam proses maupun hasil simulasi | Prediksi Debit harian, kontinyu   |
| 7  | MIKE-SHE Gabungan MIKE-11 dan SHE (IGWC, 2004)  | 1) SHE: Intersepsi, Aliran air di tanah tidak jenuh dengan persamaan Richard, Aliran air tanah 3-D., Limpasan permukaan 2-D, difusi,<br>2) MIKE-11, aliran di saluran dengan routing 1-D.             | Simulasi proses Aliran air di DAS   |
| 8  | InHM (Integrated Hydrology Model) (Joel VanderKwaak, <i>et al.</i> , 1993 dalam IGWC, 2004)                             | 1) Limpasan permukaan dengan 2-D difusi gelombang,<br>2) Aliran melalui media porus jenuh dengan model Richard 3-D.   | Menghitung Aliran air permukaan dan bawah permukaan, serta transportasi sedimen                                   |
| 9  | IGSM2 (Integrated Groundwater-Surface Water Model 2) (Emin Can Dogrul dan Tariq Kadir, dalam IGWC, 04)                  | 1) Analisa aliran horizontal aliran air tanah dengan finite elemen,<br>2) Antar lapis didekati oleh gerakan air vertikal.   | Simulasi elevasi muka air tanah dalam berbagai lapis aquifer  |
| 10 | MOGROW (Quener, 1994)   | 1) Aliran air tanah jenuh, Grid segi tiga - 3 D.<br>2) Aliran air pada zone tidak jenuh 1 D<br>3) Limpasan permukaan 1 D, grid bujursangkar   | Prediksi Debit sungai, kontinyu   |
| 11 | ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation) (Beasley dan Huggin, 1981, Suhartanto, 2001) | 1) Erosi dan sedimentasi dengan model USLE<br>2) Limpasan permukaan "Hortonian overland flow runoff model"<br>3) Infiltrasi: "Green and Ampt Model"<br>4) Permukaan lahan dibuat grid bujursangkar    | Menghitung limpasan permukaan, mengevaluasi dan merumuskan tata guna lahan dengan tujuan pengendalian erosi lahan |
| 12 | MODFLOW (Helena Solo-Gabriele and Mark Nemeth, 2003 dalam IGWC, 2004)   | 1) Limpasan permukaan dengan aliran tidak permanen 1 D<br>2) Aliran air tanah, deferensi hingga 3-D<br>1. Sistem Data base dengan SIG   | Prediksi Debit sungai, kontinyu   |

## 2 Penggunaan Model Hidrologi DAS

Model-model hidrologi DAS digunakan dalam perencanaan, desain, dan proyek perancangan, untuk memelihara air dan sumber daya lahan, serta untuk melindungi kualitasnya. Dalam tinjauan lahan, model digunakan untuk bervariasi tujuan, seperti perencanaan dan merancang praktek konservasi lahan, manajemen air irigasi, reklamasi lahan rawa, dan manajemen permukaan air di bawah tanah. Dalam cakupan yang lebih luas, model digunakan untuk proyek perlindungan banjir, rehabilitasi dam, manajemen pengendalian banjir, evaluasi kualitas air, dan peramalan persediaan air.

Model DAS digunakan untuk memahami interaksi dinamis antar iklim dan “*land-surface hydrology*”. Sokrut (2001) memanfaatkan model hidrologi berjenis terdistribusi gabungan dari model limpasan permukaan dengan model aliran bawah permukaan sebagai alat untuk mengelola DAS. Yeo *et al.* (2003) menggabung model hidrologi dengan model penggunaan lahan untuk optimasi rencana penggunaan lahan dengan tujuan memperkecil puncak debit limpasan permukaan. Rencana penggunaan lahan optimal yang diperoleh dapat menurunkan puncak debit akibat hujan dengan kala ulang 1, 2, 5, dan 10 tahun sebesar 15% hingga 20% dari kondisi semula.

Dalam manajemen air tanah diperlukan alat yang dapat memberikan gambaran tentang segala respon yang akan terjadi dari setiap keputusan yang akan diambil. Model air tanah adalah penyederhanaan dari sistem nyata (air tanah) dalam hal hubungan antar faktor-faktor yang berpengaruh serta responsnya terhadap pengaruh luar. Dari beberapa faktor, kemampuan dan ketepatan model dalam memprediksi laju dan arah aliran air tanah sangat penting artinya dalam perencanaan dan penerapan konservasi air tanah. Secara ringkas, model DAS sudah menjadi suatu alat penting untuk perencanaan sumber daya air, pengembangan, dan manajemen.

Pada dekade tahun 1980 dan 1990-an, model hidrologi dihubungkan dengan: ilmu kimia, geologi, biologi lingkungan, meteorologi, dan ilmu iklim. Penghubungan tersebut dilakukan dengan dua pertimbangan. Pertama, peningkatan pemahaman tentang variabilitas spasial dari proses hidrologi dan peran tentang penyekalaan. Kedua, revolusi digital memungkinkan pemakaian Sistem Informasi Geografis (SIG), teknik

penginderaan jauh, dan manajemen sistem database. Pada masa yang akan datang, model matematika hidrologi DAS menjadi sarana untuk: perencanaan sumber daya air, pengembangan, disain, operasi, dan manajemen. Hal ini mengantisipasi bahwa masa depan akan semakin berkembang pengintegrasian model hidrologi DAS dengan manajemen ekologis dan lingkungan.

Banyak dari model hidrologi DAS yang sekarang adalah bersifat komprehensif, *distributed*, dan berbasis pada kondisi fisik. Mereka memiliki kemampuan dengan teliti menirukan hidrologi DAS dan dapat diaplikasikan pada suatu cakupan luas dari permasalahan sumber daya air (Singh *et al.*, 2002). Gabungan dari beberapa model dapat menjadi sebuah sistem sebagai alat bantu sebagai panduan dalam proses pengambilan keputusan. Dalam manajemen pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan, “*Decision Support System*” (DSS) memerlukan sarana yang dapat dipakai untuk analisis spasial yang secara otomatis dapat digunakan untuk analisis kesesuaian lahan. Dengan teknologi yang sesuai, DSS dapat ditingkatkan mulai dalam hal “*architecture*”, hingga implementasi, dengan sistem komputasi mutakhir, misalnya dalam bentuk SIG.

Dengan dicetuskannya revolusi teknologi informasi, penginderaan jauh, teknologi satelit, sistem informasi geografis, visual grafik, dan manajemen data base, model hidrologi terus semakin canggih dan terintegrasi dengan model proses lain.

## METODE PENDEKATAN

### 1 Merubah kontur ke dalam Format ASCII

Untuk merubah data topografi menjadi informasi berformat ASCII di lakukan strategi sebagai berikut:

- Melakukan *cropping* Garis Kontur dengan Batas DAS menggunakan program *Arcview GIS 3.2*, yang dilengkapi dengan *Extension Geoprocessing*.
- Merubah Layer Kontur menjadi format *Triangulasi Irregular Network* (TIN) dan Grid dengan ekstensi *3D Analyst* dan *Spatial Analyst*.
- Merubah Grid Ketinggian menjadi data ASCII

## 2 Gerakan air arah vertikal

Mengingat tujuan model untuk mengetahui debit limpasan permukaan, maka pengaruh faktor yang memberikan kontribusi terhadap besarnya debit harus diperhitungkan. Faktor-faktor tersebut ialah: intersepsi, kekasaran permukaan lahan, dan infiltrasi.

### 1) Intersepsi

Intersepsi merupakan bagian dari komponen proses hidrologi yang menunjukkan besarnya air hujan yang terperangkap penutup lahan dan teruapkan kembali. Besarnya koefisien intersepsi (%) dipengaruhi oleh jenis dan kondisi penggunaan lahan. Dengan demikian dalam pemodelan yang bertujuan menganalisa pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran sungai harus diperhitungkan.

### 2) Evapotranspirasi

Evapotranspirasi akan terjadi jika terpenuhi adanya dua kondisi utama, yaitu faktor energi yang menyebabkan terjadinya evapotranspirasi, dan faktor air yang dapat dievapotranspirasikan. Faktor-faktor tersebut ialah: radiasi matahari, angin, kelembaban relatif, dan temperatur.

Nilai yang diperoleh dari rumusan empiris merupakan besarnya evapotranspirasi potensial (*potential evapo-transpiration*), sedangkan besarnya evapotranspirasi yang terjadi atau evapotranspirasi nyata (*actual evapo-transpiration*) sangat tergantung ketersediaan kandungan air yang dapat diuapkan.

### 3) Air Pada Zone Tidak Jenuh

Air yang mencapai permukaan lahan sebagian akan meresap (infiltrasi) ke bawah permukaan lahan menjadi air bawah permukaan, sedangkan sisanya tertahan di atas permukaan lahan. Infiltrasi nyata ( $I_n$ ) sangat tergantung dari kapasitas infiltrasi ( $I_c$ ), dan bagian dari air hujan yang berpotensi untuk diresapkan.

Faktor tumbuh-tumbuhan dapat berpengaruh terhadap besarnya kapasitas infiltrasi karena aktifitas pada sistem perakaran dapat meningkatkan kemantapan agregat tanah, dan ruang pori makro. Dengan demikian secara tidak langsung dapat dinyatakan bahwa penggunaan lahan berpengaruh terhadap kapasitas infiltrasi.

Singh *et al.*, (2002) menjelaskan bahwa: salah satu usaha yang paling awal untuk

mengembangkan suatu teori infiltrasi ialah Green and Ampt. Mengakomodasi adanya pengaruh infiltrasi nyata ( $I_n$ ), dan Evapotranspirasi nyata ( $E_n$ ) terhadap kondisi kelembaban tanah, dalam studi didekati dengan konsep keseimbangan massa. Berkaitan dengan Persamaan Green and Ampt, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\phi_{(t+\Delta t)} = \phi_s - \frac{\phi_s}{\beta} \ln \left[ \frac{\beta K_s \Delta t}{L \phi_s} + \text{eksp.} \frac{\beta}{\phi_s} (\phi_s - \phi_{(t)}) \right] + I_{a(t)} - E_{a(t)} \dots \dots \dots (1)$$

dengan L = ketebalan lapisan tanah tidak jenuh,  $\phi$  = rerata kandungan air tanah,  $\phi_s$  = rerata kandungan air tanah dalam keadaan jenuh, K = daya hantar hidraulis tanah jenuh,  $\beta$  = konstanta tak berdimensi, t = waktu tinjauan.

## 3 Gerakan air arah horizontal

Dalam pemodelan hidrologi DAS yang bersifat terdistribusi, proses aliran air di atas permukaan lahan didekati dengan aliran air melalui saluran terbuka. Untuk analisa debit limpasan permukaan dipilih metode aliran tidak permanen dan tidak seragam 1 dimensi, dengan harapan dapat meminimalkan jumlah iterasi hitungan sehingga waktu *running* semakin singkat.

Untuk analisa aliran tidak permanen satu dimensi digunakan persamaan kontinuitas, dan kekekalan momentum. Penyelesaian numerik dari kedua persamaan tersebut dapat dilakukan dengan skema linier (Haji, 2001, dan Suharto, 2002).

Di dalam penelitian ini, skema tersebut diperbarui dengan skema 4 titik Preisman, karena akan diperoleh penyelesaian numerik yang lebih stabil.

Bentuk akhir dari persamaan yang dimaksud adalah:

$$Q_{i+1}^{n+1} = \frac{4 * \Delta X * \Delta t}{(\alpha_1 * \beta_1 * \theta * \Delta X * \Delta t + 4 \Delta t + 2 \Delta X)} * \left\{ \left( \frac{\theta}{\Delta X} + 1 \right) - \alpha_1 * \beta_1 * \frac{\theta}{2} \right\} Q_{(i)}^{n+1} - \frac{1 - \theta}{2} (\Delta Q)^{\beta(1-\theta)} * \left\{ \frac{1}{2 \Delta t} (\Delta Q^n) + \frac{1}{2 \Delta t} Q_{i+1}^n + \frac{\Delta X}{\Delta t} \left[ \frac{\theta}{2} (AA P_i^{n+1} + AA P_{i+1}^{n+1}) \right] \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan:  $Q$ ,  $AAP$ ,  $\Delta t$ ,  $\Delta X$ ,  $i$  dan  $n$  adalah debit, tinggi air di atas permukaan tanah, selang waktu hitungan, ukuran sel, notasi sel, dan notasi waktu. sedangkan  $\theta$  adalah koefisien pemberat ruang pada skema preissman.

$$\alpha_1 = \left( \frac{n * P^{(2/3)}}{\sqrt{S_o}} \right)_{0,6} \quad \text{dan} \quad \beta_1 = 0.6$$

Dimana  $S_o$  adalah : kemiringan lereng dan  $n$  Koefisien kekasaran manning.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Diskripsi Model

Dalam pengembangan model dilakukan improvisasi terhadap model hidrologi DAS yang telah ada, serta penambahan beberapa sarana untuk meningkatkan kemampuan model. Dengan perlakuan tersebut menghasilkan Model Hidrologi DAS dengan deskripsi sebagai berikut:

- Model berjenis konseptual-terdistribusi.
- Mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam proses alihragam hujan menjadi aliran sungai dengan parameter: kekasaran *Manning* ( $n$ ).
- Model Limpasan Permukaan dengan konsep aliran tidak seragam satu dimensi (1D), menggunakan skema 4 titik Preissman.
- Dilengkapi sarana kalibrasi: DT, untuk menyesuaikan selang waktu hitungan dan KTP untuk melakukan koreksi terhadap tinggi puncak hidrograf debit.
- Dapat digunakan untuk menghitung debit limpasan permukaan setiap jam.  
Uraian tersebut diperjelas dengan skema pemodelan yang ditampilkan pada Gambar 2.

### 2 Pengujian Model

Pengujian model dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan model dalam menirukan dan menganalisa kondisi alam nyata, yang dalam hal ini digunakan parameter hidrograf debit limpasan permukaan sebagai ukuran. Model dianggap dapat menirukan dan menganalisa kondisi nyata jika hasil hitungan model mempunyai tingkat kesebangunan yang tinggi dengan data hasil pengukuran.

Sebagai ukuran kesebangunan ditunjukkan

dengan kemampuannya dalam menirukan miring grafik hasil pengukuran (hidrograf debit) dalam proses kalibrasi maupun verifikasi. Untuk mengetahui kesebangunan tersebut, uji trend dilakukan dalam dua bentuk, yaitu:

- Tampilan grafis dengan membandingkan antara hasil pengukuran dengan hasil model. Dua buah (atau lebih) grafik dianggap memiliki trend yang sama jika secara visual menampilkan bentuk yang sebangun.
- Koefisien determinasi ( $R^2$ ) antara sebaran data hasil pengukuran dengan hasil model. Tingkat kesebangunan antara hasil pengukuran dengan hasil model ditunjukkan dengan perbandingan antara koefisien  $t$  yang dihitung dengan koefisien  $t$  yang diperoleh dari tabel.

### 3 Kalibrasi

Untuk kalibrasi parameter DT dan KTP digunakan debit jam-jaman akibat hujan sesaat, agar kedua parameter tersebut dapat dilihat dengan nyata pengaruhnya. Parameter DT digunakan untuk menyesuaikan waktu terjadinya debit puncak hidrograf hasil simulasi dengan debit hasil pengukuran. Sedangkan parameter KTP digunakan untuk menyesuaikan tinggi puncak debit.

Sebagai sarana uji pengaruh nilai DT terhadap waktu terjadinya debit puncak, simulasi dilakukan dengan perubahan nilai DT dibuat sebesar 0,05 menit pada rentang nilai 1,15 hingga 1,3. Hasil hitungan dibandingkan dengan debit limpasan hasil pengukuran, disajikan pada Gambar 3.

Oleh karenanya maka nilai DT sebaiknya dipilih yang paling besar agar waktu yang digunakan program untuk analisa data dapat ditekan sekecil mungkin.

Namun demikian hal tersebut harus masih tidak menggeser saat terjadinya debit puncak sehingga tidak mengurangi tingkat ketelitiannya.

Dari uji korelasi antara debit limpasan hasil hitungan dengan debit limpasan hasil pengukuran menunjukkan bahwa  $DT = 1,3$  memberikan hasil yang paling baik. Oleh karenanya maka nilai DT untuk hitungan pada tahap verifikasi digunakan nilai 1,3 menit.

Nilai hasil pengukuran kapasitas infiltrasi seringkali sulit untuk mendekati nilai yang sebenarnya, hal tersebut disebabkan kapasitas infiltrasi juga dipengaruhi oleh banyak faktor, mulai dari tekstur, kepadatan, kandungan bahan

organik, kemiringan lahan, hingga kondisi awal dari kadar air.

Untuk menemukan nilai yang paling tepat, simulasi nilai KTP dilakukan dengan merubah nilai yang relatif berdekatan. Dari simulasi yang dilakukan dan visualisasi hidrograf debit pada Gambar 4 diperoleh gambaran bahwa nilai KTP yang terdekat adalah = 1,08555. Hal tersebut diperkuat dengan hasil uji kesebangunan antara hidrograf hasil pengamatan dengan hasil model untuk  $KTP=1,08555$ , nilai  $R^2=0,8540^{**}$ .

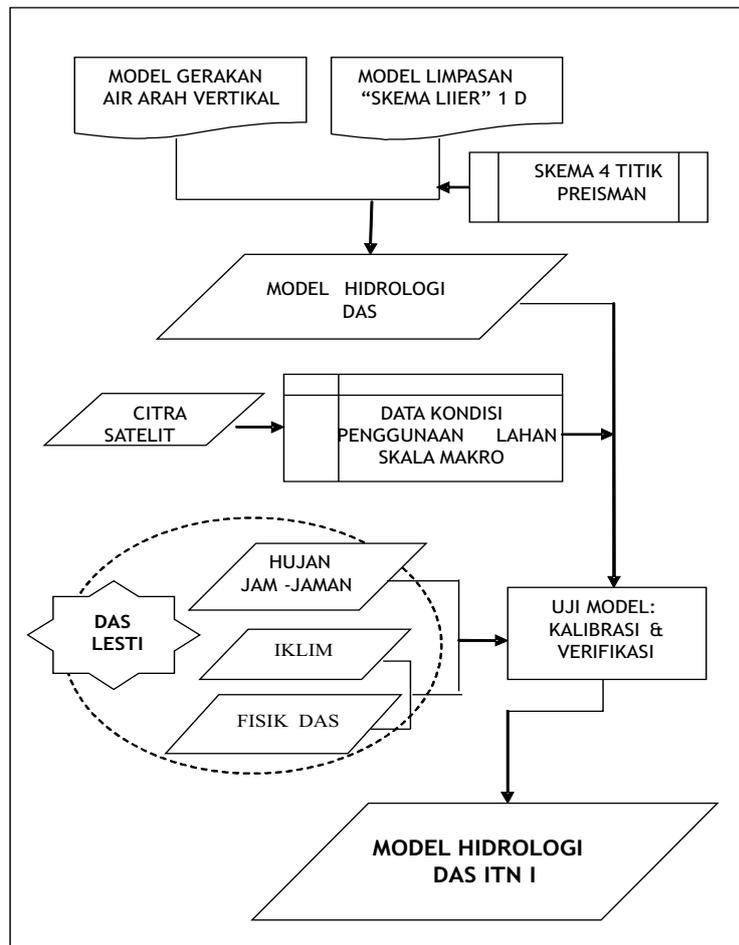
#### 4 Verifikasi

Nilai koefisien DT dan KTP hasil kalibrasi (1,3

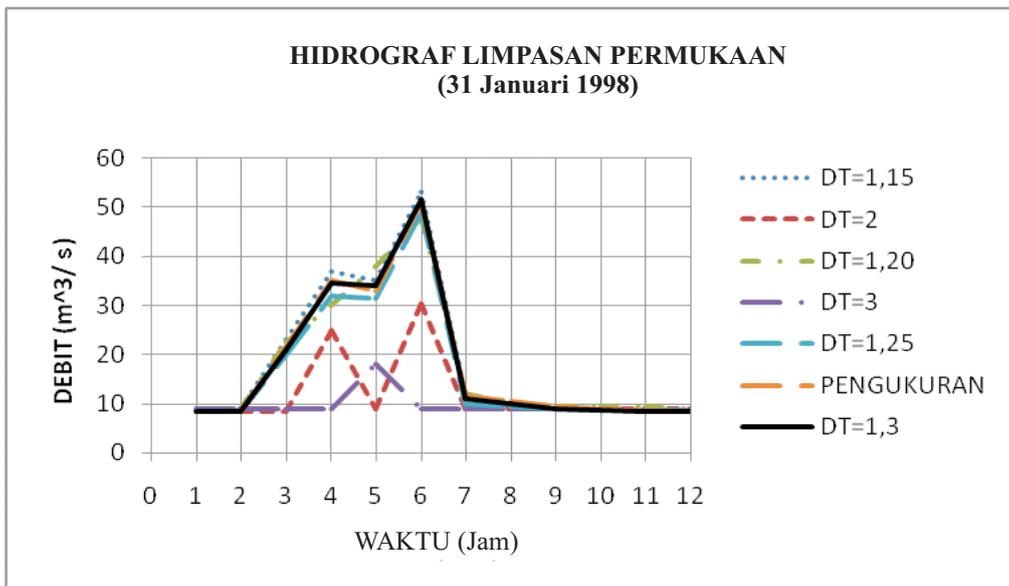
menit dan 1,08555) digunakan untuk menghitung debit dengan masukan data hujan setiap jam pada kejadian lainnya. Perbandingan antara debit hasil model dengan debit pengukuran ditampilkan pada Gambar 5.

Perbedaan tinggi debit pada setiap jamnya ditunjukkan dengan nilai selisih absolut yang disajikan pada Tabel 2. Selisih maksimum terjadi pada jam ke-4, yaitu sebesar 7,58%.

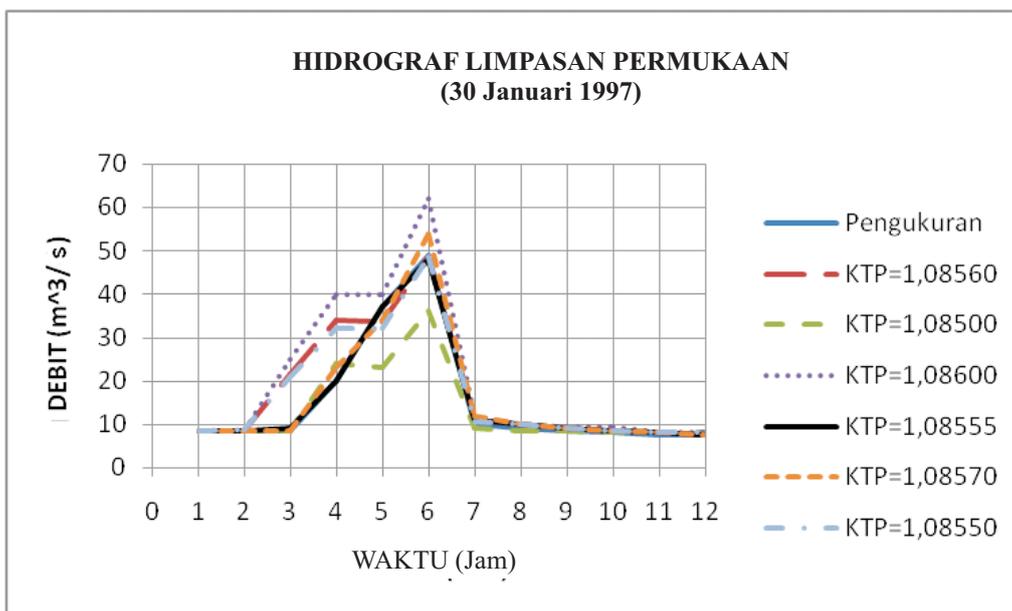
Dengan hasil uji selisih absolut dan uji koefisien korelasi tersebut, maka model dapat dianggap layak untuk digunakan untuk analisa hidrograf debit limpasan permukaan.



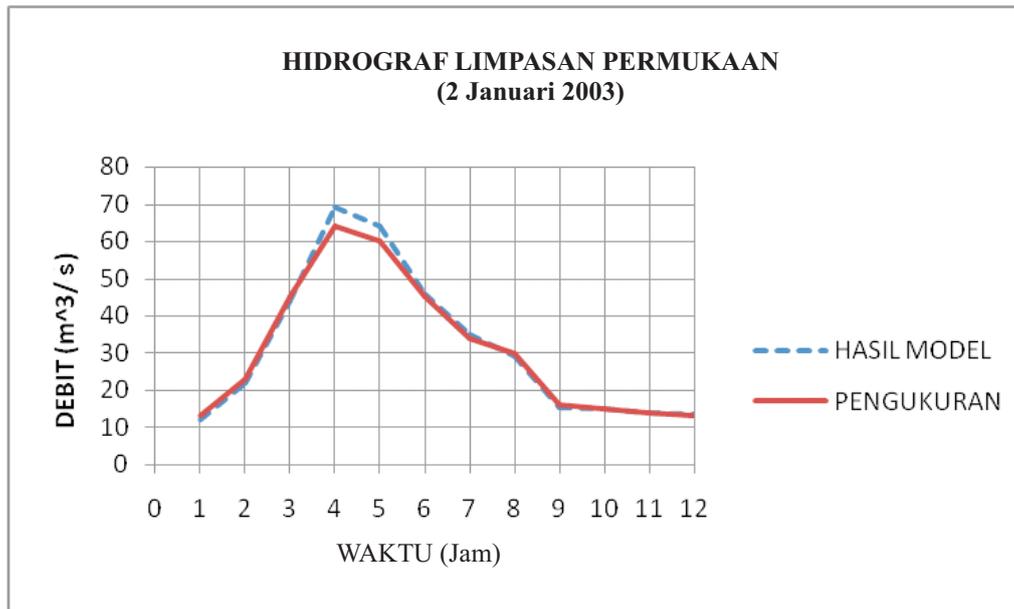
Gambar 2 Skema Pemodelan



Gambar 3 Hidrograf Debit Banjir Dengan Berbagai Nilai DT



Gambar 4 Hidrograf Debit Banjir dengan Berbagai Nilai KTP



Gambar 5 Hidrograf Debit Dalam Verifikasi KTP dan DT

Tabel 2 Selisih Nilai Absolut Debit Model dan Debit Pengukuran

| T (J) | Debit Model (m <sup>3</sup> /s.) | Debit Pengukuran (m <sup>3</sup> /s.) | Selisih Debit (%) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 1     | 11,842                           | 13                                    | 0,977             |
| 2     | 21,829                           | 23                                    | 5,364             |
| 3     | 43,56                            | 45                                    | 3,306             |
| 4     | 69,249                           | 64                                    | 7,580             |
| 5     | 64,066                           | 60                                    | 6,347             |
| 6     | 46,444                           | 45                                    | 3,109             |
| 7     | 35,083                           | 34                                    | 3,087             |
| 8     | 28,511                           | 30                                    | 5,223             |
| 9     | 14,874                           | 16                                    | 7,570             |
| 10    | 14,605                           | 15                                    | 2,705             |
| 11    | 14,303                           | 14                                    | 2,118             |
| 12    | 13,532                           | 13                                    | 3,931             |

## KESIMPULAN DAN SARAN

### 1 Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Penelitian menghasilkan Model Hidrologi DAS berjenis konseptual–terdistribusi, yang dapat digunakan untuk memprediksi debit limpasan permukaan dan selanjutnya disebut Model Hidrologi DASITNI.
- 2) Model ini dapat digunakan pada daerah aliran sungai (DAS) dengan batasan: 1) Dianggap tidak terjadi perubahan jenis dan kondisi penggunaan lahan selama satu tahun, 2) Varian jenis dan kondisi penggunaan lahan maksimum 13 buah, 3) Varian tekstur tanah maksimum 10 buah, 4) Jumlah stasiun pengukur hujan maksimum 10 buah, 5) Dibuat sistem grid dengan jumlah maksimum kolom dan baris adalah 269 dan 290 buah. Jadi dapat dinyatakan bahwa Model Hidrology DAS ITN 1 dapat digunakan dengan baik.

### 2 Saran

Untuk mengatasi keterbatasan model dalam hal batas maksimum jumlah dari:

- 1) Varian jenis dan kondisi penggunaan lahan,
- 2) Varian tekstur tanah,
- 3) Jumlah stasiun pengukur hujan,
- 4) Jumlah kolom dan baris, dapat dilakukan dengan mengubah dimensi *array* dari masing-masing parameter pada *program sources*.

Peningkatan akurasi model dapat dilakukan dengan cara:

- 1) Mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan terhadap kapasitas infiltrasi.
- 2) Dilengkapi dengan model aliran air tanah  
Dengan demikian maka model akan mampu menganalisa seluruh komponen dari debit sungai.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1 Asdak, C. 1995. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- 2 Haji, T.S. dan S. Legowo. 2001. *Pemanfaatan SIG untuk Model Hidrologi Sebar Keruangan*, Makalah disampaikan dalam PIT XVIII HATHI, Malang.
- 3 Hattermann, F.V., F.Krysanova, Wechsung, and M.Wattenbach. 2002. *Multiscale and Multicriterial Hydrological Validation of the EcoHydrological Model SWIM*, Potsdam Institute for Climate Impact Research, German.
- 4 Kustamar. 2007. *Pengembangan Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai*. Disertasi. Tidak Diterbitkan.
- 5 Pitt, R., S.E.Chen, and S.Clark. 2001. *Infiltration Through Compacted Urban Soil and Effects on Biofiltration Design*, Presented at the Low Development Roundtable Conference.
- 6 Singh, V.P., and D.A.Woolhiser. 2002. *Mathematical Modeling of Water-shed Hydrology*, J. Of Hydrology Engineering, July/August 2002, hal. 270-292.
- 7 Sokrut, N. 2001. *A Distributed coupled model of surface and subsurface dynamics as a tool for catchment management*, Thesis, Dept. Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden.
- 8 Suhartanto, E. 2001. *Optimasi Pengelolaan DAS di Sub DAS Cidanau Kab. Serang Propinsi Banten Menggunakan Model Hidrologi ANSWERS*. <http://rudycr.250x.com/sem1012/erysuhartanto.htm>. 21 Juni 2004.
- 9 Suharto, B. 2002. *Modeling Hidrologi Untuk Pengelolaan Sumberdaya Air Dan Peramalan Hidrograf Banjir Pada Daerah Aliran Sungai*, Pidato Pengukuhan GB.UB. Malang.
- 10 Wong, T.S.W., and Chen C.N. 1992. *Pattern of flood peak increase in urbanizing basins with constant and variable slopes*, J. Hydrology, 143 : 339-354.
- 11 Yeo, I.Y., S.I.Gordon, and J.M.Guld mann. 2003. *Optimizing Patterns of Land Use to Reduce Peak Runoff Flow and Nonpoint Source Pollution with an Integrated Hydrological and LandUse Model*. <http://knowlton.osu.edu/KSAstudent/crp/Gordon/yeo.pdf>. 12 Juli 2004.