

RIVER BASIN HYDROLOGY MODEL DEVELOPMENT FOR PREDICTING FLOOD WITHOUT USING CALIBRATION

PENGEMBANGAN MODEL HIDROLOGI CEKUNGAN SUNGAI UNTUK MEMREDIKSI BANJIR TANPA MENGGUNAKAN KALIBRASI

Kustamar¹⁾, Lilia Susana Dewi²⁾, Nugroho Suryoputro³⁾

¹⁾Civil Engineering – Water Resources Engineering, Civil Engineering & Planning Faculty, ITN Malang, email: kustamar@yahoo.co.id

²⁾Agriculture Engineering, Agriculture Teknologi Faculty, Brawijaya University Malang

³⁾Civil Engineering - Engineering Faculty, State University of Malang.

ABSTRACT

Identification of flood-threatened areas in process of setting a Regional & Space Planning has been conducted, generally, by using statistical models based upon the occurrence of disasters. The accuracy of such method becomes questionable when factors such as environmental damage and the effects of change in land utilization planning that have taken place are not taken into account. The change process carried by rain in one area which then converts such area to a river basin is relatively complicated due to a number of interrelated factors. Due to the complexity of the process, a distributed River Basin Hydrology Model is required in order to be able to analyze it. To meet such a need, ITN-2 River Basin Hydrology Model was then expanded to produce ITN-3 River Basin Hydrology Model. The improvement found in ITN-3 River Basin Hydrology Model is the model's increased sensitivity towards the change in land type and land use condition, supported by the strategy in the computation process. The model's increased sensitivity towards land use condition is performed by accommodating its effect on infiltration capacity. This effect is formulated in a correction coefficient (Cc), i.e., the comparison of the magnitude of infiltration capacity measured in one location with the infiltration capacity obtained from soil type information. Improvement has been made in the analysis process as well, i.e., the separation of spatial analysis process and numerical computation found in the former model is replaced by performing them simultaneously in the current model. In the former ITN-2 River Basin Hydrology Model, the spatial analysis was conducted by means of ArcView GIS, while the numerical analysis was performed by using Fortran. In ITN-3 River Basin Hydrology Model, on the other hand, the spatial and numerical analysis is conducted by means of Model Builder found in ArcGIS. By accommodating the effect of land use in analyzing infiltration capacity, the role of numerical calibration parameter becomes very small. Hence ITN-3 River Basin Hydrology Model can be used to analyze flood debit without the need of calibration process.

Keywords: Hydrology Model of River Basin, Flood Analysis without Calibration

ABSTRAK

Identifikasi daerah rawan bencana banjir dalam proses penyusunan Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW). Pada umumnya dilakukan dengan model statistik berdasarkan data terjadinya bencana. Akurasi hasil dari metode ini tentunya semakin rendah manakala terjadi perubahan penggunaan lahan, baik akibat kerusakan kondisi lingkungan yang telah terjadi maupun dampak perubahan rencana penggunaan lahan. Proses alih ragam hujan pada suatu kawasan hingga menjadi aliran sungai realtif rumit, karena dipengaruhi oleh berbagai factor yang saling terkait. Oleh karena rumitnya proses tersebut, maka untuk menganalisisnya diperlukan model hidrologi DAS berjenis terdistribusi. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka Model Hidrologi DAS ITN 2 dikembangkan menjadi Model Hidrologi DAS ITN 3. Pengembangan yang dilakukan dalam Model Hidrologi DAS ITN 3, ialah peningkatan kepekaan model terhadap perubahan jenis dan kondisi penggunaan lahan, serta strategi dalam proses hitungannya. Peningkatan kepekaan model terhadap perubahan kondisi penggunaan lahan dilakukan dengan mengakomodasi pengaruhnya terhadap kapasitas infiltrasi. Pengaruh tersebut dinyatakan dengan koefisien koreksi (Kk), yaitu merupakan perbandingan antara besarnya kapasitas infiltrasi yang diukur pada suatu lokasi dengan kapasitas infiltrasi yang diketahui dari informasi jenis tanah. Pengembangan juga dilakukan dalam hal proses analisisnya, yaitu yang semula dilakukan secara terpisah antara proses analisa spasial dengan hitungan numerik, dicoba dilakukan secara bersamaan. Dalam Model Hidrologi DAS ITN 2, analisa spasial dilakukan dengan alat bantu ArcView GIS dan untuk analisa numerik digunakan program Fortran. Sedangkan dalam Model Hidrologi DAS ITN 3 untuk analisa spasial dan numeriknya digunakan alat bantu model builder yang terdapat dalam ArcGIS. Dengan mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam analisa kapasitas infiltrasi, peran parameter kalibrasi numerik menjadi sangat kecil sehingga Model Hidrologi DAS ITN 3 dapat digunakan untuk analisa debit banjir tanpa melalui proses kalibrasi.

Kata-kata kunci: Model Hidrologi DAS, Analisa Debit Banjir Tanpa Kalibrasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Rencana pengembangan wilayah harus direncanakan dengan cermat, mengingat implikasi yang ditimbulkan sangat luas dan mencakup berbagai sendi kehidupan masyarakat. Sesuai dengan amanat yang terkandung dalam UU RI No. 26 tahun 2007 tentang penataan ruang, bahwa tujuan dari penyelenggaraan

penataan ruang ialah mewujudkan ruang wilayah nasional yang: aman, nyaman, produktif, dan berkelanjutan, maka perencanaan harus dilakukan secara komprehensif dan integratif.

Rencana penggunaan lahan harus disesuaikan dengan potensi kawasan, dan daya dukung lingkungannya. Oleh karenanya diperlukan berbagai informasi kondisi eksisting suatu kawasan, dan evaluasi rencana pengembangan yang antara lain berkaitan dengan status kawasan rawan banjir.

Identifikasi kawasan rawan banjir dilakukan dengan memprediksi besarnya debit banjir, kapasitas sungai, dan kawasan yang terdampak.

Prediksi debit banjir dilakukan dengan simulasi alih ragam hujan pada suatu DAS menjadi aliran sungai menggunakan model hidrologi DAS. Simulasi dapat dilakukan jika tersedia data spasial fisik DAS, hujan dan debit jam-jaman dalam jumlah yang cukup dan berkualitas.

Berbagai model hidrologi DAS telah dibangun, baik yang berjenis terdistribusi (*distributed*) maupun kempal (*lumped*) (Singh, 2002). Model hidrologi DAS terdiri dari 2 komponen utama, yaitu: model sebaran air arah vertikal, model limpasan permukaan. Semua model hidrologi DAS terdistribusi memerlukan proses kalibrasi, hal ini menyulitkan saat digunakan untuk memprediksi debit banjir pada suatu lokasi di sungai yang tidak terdapat stasiun pengamat debitnya. Hal ini sering dijumpai pada kegiatan analisis hidrologis pada DAS yang belum berkembang pengelolaannya.

Kustamar (2010) telah mengembangkan Model Hidrologi DAS ITN II, yaitu model hidrologi DAS berjenis terdistribusi yang diharapkan dapat digunakan untuk memprediksi banjir dengan tanpa kalibrasi. Dari uji yang dilakukan, ternyata masih terdapat keterbatasan dalam jumlah varian jenis tanah yang dapat diwakili koefisien permeabilitasnya. Oleh karena hal tersebut maka dalam penelitian ini Model Hidrologi DAS ITN II diperbaiki dengan menambah jumlah varian jenis tanah yang dapat diwakili dan ditingkatkan ketelitiannya dalam hal analisa debit.

Identifikasi Permasalahan

Perubahan penggunaan lahan terus berlangsung seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan dinamika aktifitasnya. Perubahan tersebut selalu berdampak terhadap keseimbangan alam, khususnya kerusakan lingkungan sekitar. Dampak hidrologis yang terjadi dalam waktu singkat adalah bencana banjir, sedangkan dalam jangka panjang tentu akan diikuti masalah kekurangan air.

Dampak hidrologis (banjir) dari setiap kondisi penggunaan lahan dapat diprediksi dengan model hidrologi DAS. Oleh karenanya dalam proses penyusunan RTRW sudah selayaknya selalu diikuti dengan analisis pengaruhnya terhadap banjir dan kawasan yang terdampak menggunakan model hidrologi DAS. Dengan demikian akan dihasilkan suatu RTRW yang jauh lebih baik.

Perubahan kondisi, luas, dan lokasi setiap jenis penggunaan lahan secara konseptual akan berpengaruh terhadap karakter dan besaran hidrologisnya. Dengan demikian model hidrologis yang dapat mengakomodasi permasalahan tersebut adalah model hidrologi DAS yang berjenis konseptual terdistribusi.

Kemajuan teknologi dan sarana komputasi telah mempermudah kita memperoleh serta menganalisis data spasial fisik dasar suatu kawasan, misalnya: topografi, tutupan lahan, dan jenis tanah. Namun demikian, nilai kapasitas infiltrasi masih sulit diprediksi berdasarkan data spasial tersebut. Oleh karena pentingnya peran nilai kapasitas infiltrasi tersebut, maka perlu dibangun metode yang tepat.

Nilai kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh: jenis tanah, kepadatan tanah, jenis dan konsisi tutupan lahan, dan kemiringan lereng. Berbagai penelitian telah dihasilkan, namun belum cukup untuk memprediksi nilai kapasitas infiltrasi dengan hanya mengandalkan data spasial fisik dasarnya saja. Oleh karena tersebut perlu dicari korelasi dan koefisien koreksi yang sesuai.

Kemampuan model hidrologi dan akurasi koefisien koreksi kapasitas infiltrasi (Kk) yang dihasilkan harus diuji sebelum dipublikasikan. Untuk keperluan tersebut dipilih DAS Lesti sebagai sarana membangun model dan mengujinya.

Permasalahan yang teridentifikasi dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Berapa besar koefisien koreksi kapasitas infiltrasi (Kk) dari setiap jenis dan kondisi penggunaan lahan yang ada di DAS Lesti?
- 2) Bagaimana model hidrologi DAS yang dapat untuk memprediksi debit banjir dari setiap rencana penggunaan lahan dapat dikembangkan?
- 3) Mampukah model yang dihasilkan untuk memprediksi debit banjir tanpa melalui proses kalibrasi?

KAJIAN PUSTAKA

Perkembangan Model Hidrologi DAS

Hidrologi telah digambarkan oleh Penman pada tahun 1961 sebagai ilmu pengetahuan yang mencoba untuk menjawab pertanyaan "Apa yang terjadi pada hujan?". Pernyataan ini seperti suatu pertanyaan yang cukup sederhana, tetapi pengalangan yang ditunjukkan deskripsi kuantitatif pada tahap "lahan" dari siklus hidrologi menjadi sangat rumit dan terdapat banyak ketidakpastian (Singh, 2002).

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

Pekembangan 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 (*quasi-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 Semiterdistribusi (*Quasi-Distributed*).

Model Hidrologi DAS ITN 2

Model Hidrologi DAS ITN 2 merupakan model hidrologi DAS berjenis konseptual-terdistribusi. Model terdiri dari model gerakan air arah vertical dan Model Limpasan Permukaan dengan konsep aliran satu dimensi (1D). Model mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam proses alihragam hujan menjadi aliran sungai dengan parameter: Intersepsi, Infiltrasi, dan kekasaran *Manning* (n), dan dilengkapi sarana untuk memasukkan nilai Kk, yang bertujuan untuk mengoreksi data kapasitas infiltrasi yang didasarkan pada peta jenis tanah dengan informasi penggunaan lahan. Analisa spasial, hidrologi, dan hidrolika dilakukan dengan alat bantu *ArcGIS*. Model dapat digunakan untuk menghitung debit limpasan permukaan jam-jaman, dengan tanpa melalui proses kalibrasi.

Hasil hitungan model dengan Model Hidrologi DAS ITN 2 memperlihatkan bahwa penggunaan Kk dalam analisa debit limpasan permukaan memiliki pengaruh yang cukup signifikan. Dari analisa tersebut terdapat penurunan nilai KTP dari 1,08 menjadi 1,02. Dengan demikian peran parameter kalibrasi numeric semakin sedikit karena model mengakomodasi lebih banyak parameter

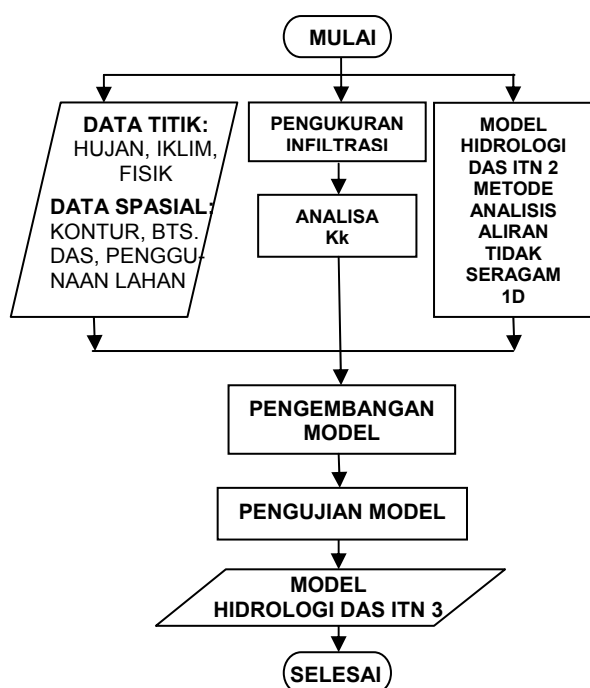
yang memiliki pengaruh sangat besar. Dengan kondisi ini, bisa diartikan bahwa jika dalam analisa pada suatu DAS yang tidak terdapat data debit hasil pengukuran, akan tetapi dimiliki data fisik lainnya cukup akurat maka proses kalibrasi dapat diabaikan.

Penyempurnaan nilai Kk dari berbagai penelitian, yang menganalisa pengaruh penggunaan lahan dan cara olah tanahnya diprediksi akan semakin menurunkan nilai KTP. Hal ini tentunya akan meningkatkan akurasi model dan menambah keyakinan untuk dapat mengabaikan proses kalibrasi.

METODE

Pengembangan Model

Pengembangan model dilakukan dengan strategi sebagai berikut: 1). Memperkaya varian nilai koefisien koreksi kapasitas infiltrasi (kk) yang semula hanya mewakili jenis tanah, dilengkapi dengan variabel kondisi tutupan lahannya, 2). Memperbaiki kemampuan analisa data, yang dalam Model Hidrologi DAS ITN 2 masih memfokuskan dalam analisa spasial dilengkapi dengan menggunakan open source program untuk analisa numeric. Urutan dan tahapan pengembangan model diilustrasikan dengan Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Pengukuran Lapangan

Umum

Pekerjaan lapangan, terdiri dari: pengukuran kapasitas infiltrasi, identifikasi jenis penggunaan lahan, dan pengamatan kondisi tutupan lahan. Kapasitas infiltrasi diukur dengan alat double ring infiltrometer. Sedangkan jenis penggunaan lahan diidentifikasi berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), dan kondisi tutupan lahan diamati secara langsung di lapangan.

Penentuan Jumlah Titik

Jumlah titik pengukuran ditentukan berdasarkan informasi jenis tanah dan jumlah varian jenis penggunaan lahannya. Dari informasi peta rupa bumi dan sistem lahan, di DAS Lesti terdapat 5 Jenis tanah, dan 8 varian jenis penggunaan lahan. Akan tetapi

karena setiap jenis tanah terdapat sekitar 4 buah jenis penggunaan lahan, maka jumlah titik pengamatan diperkirakan: $5 \text{ jenis tanah} \times (4 \text{ jenis penggunaan lahan} + 1 \text{ lahan kosong}) = 25 \text{ titik}$.

Pemilihan Lokasi

Lokasi ditentukan berdasarkan panduan peta jenis penggunaan lahan atau peta sistem lahan dan peta jenis penggunaan lahan. Lokasi dipilih sesuai dengan tujuannya, sesuai dengan konsep penentuan jumlah titik. Dengan demikian digunakan kriteria sebagai berikut:

1. Dilakukan pada 5 jenis tanah,
2. Pada setiap jenis tanah dilakukan pada 4 varian jenis penggunaan lahan, dan pada lahan kosong. Pada setiap jenis tanah yang sama dipilih lokasi yang memperlihatkan kecenderungan memiliki tekstur tanah yang sama.
3. Setiap lokasi diulang sebanyak 3 (tiga) kali, dengan menggeser lokasi namun masih pada kondisi penggunaan lahan, jenis tanah dan teksur yang sama.

Pelaksanaan Lapangan

Pengukuran kapasitas infiltrasi dilakukan dengan “double ring infiltrometer”. Pelaksanaan pengukuran diawali dengan melakukan persiapan, yaitu: menampung air secukupnya, dan membersihkan serta meratakan lokasi. Ring kecil dipasang terlebih dahulu, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan ring besar. Pengamatan dilakukan sampai dengan diperoleh kondisi laju infiltrasi yang stabil. Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Infiltrasi Lahan

Analisa Koefisien Koreksi Kapasitas Infiltrasi (Kk)

Menindak lanjuti konsep penelitian Kustamar (2007) bahwa mengingat nilai kapasitas infiltrasi yang hingga saat ini banyak ditemukan dan digunakan dalam analisa hidrologi adalah nilai kapasitas infiltrasi yang didasarkan hanya pada jenis tanah, maka untuk mengakomodasi pengaruh jenis penggunaan lahan dilakukan koreksi. Pengkoreksian dilakukan dengan mengalikan nilai koefisien Koreksi Kapasitas infiltrasi (Kk). Dimana Koefisien koreksi (Kk) adalah perbandingan antara kapasitas infiltrasi penggunaan lahan tertentu dengan kapasitas infiltrasi lahan kosong yang memiliki tekstur tanah relatif sama.

PENGEMBANGAN MODEL

Mengingat model yang dikembangkan berjenis terdistribusi, maka semua data titik harus diubah ke dalam bentuk spasial. Data spasial yang berformat vektor diubah kedalam format raster, kemudian ditransfer lagi dalam format ASCII. Model hidrologi DAS terdiri dari: a) Model Gerakan Air Arah Vertikal, b) Model Limpasan Permukaan, c) Model Aliran Air Tanah

Model Gerakan Air Arah Vertikal

Proses perubahan distribusi vertikal air hujan menjadi air di atas permukaan tanah, diturunkan dalam Model Gerakan Air Arah Vertikal. Komponen hidrologi yang berpengaruh ialah: Intersepsi, Infiltrasi, dan Evapotranspirasi. Dalam model ini dilakukan proses:

1. Pendistribusian hujan sesuai dengan daerah pengaruh stasiun hujan,
2. Pengaruh koefisien intersepsi terhadap hujan, hingga menjadi hujan bersih,
3. Menghitung ketebalan air di atas permukaan (AAP) lahan.

Model Limpasan Permukaan

Umum

Limpasan permukaan yang secara fisik merupakan aliran air di atas lahan, dalam penelitian ini didekati dengan konsep aliran air melalui saluran terbuka, sehingga berlaku hukum-hukum hidraulika. Daerah aliran sungai dibagi menjadi sel-sel dengan ukuran 50 m. Aliran dari sel yang satu ke sel yang lain secara bersambungan dianggap sebuah sungai yang lebar, sehingga jaring aliran air di atas rangkaian sel dapat dianggap menjadi suatu sistem persungai.

Keseimbangan Massa

Dalam suatu segmen sungai keseimbangan massa terpenuhi jika :”Selisih massa yang masuk dan yang keluar segmen sama dengan perubahan massa di dalam segmen”. Dari konsep tersebut diperoleh persamaan kontinuitas untuk aliran tidak permanen :

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial T} = q_{lat} \tag{1}$$

Dengan : Q, A, q_{lat}, X, dan t adalah Debit, Luas Tampang, debit aliran samping, panjang, dan waktu.

Kekekalan Momentum

Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa : jumlah fluks momentum yang masuk dan keluar suatu segmen ditambah jumlah gaya-gaya yang bekerja pada segmen sama dengan perubahan momentum di dalam segmen. Persamaan Momentum dinyatakan dalam bentuk:

$$A = \alpha 1 * Q^{\beta 1} \tag{2}$$

Persamaan Manning adalah:

$$Q = \frac{S_o^{(1/2)}}{N * P^{(2/3)}} * A^{(5/3)} \tag{3}$$

Jika dibawa ke dalam bentuk (2) maka:

$$A = \left(\frac{N * P^{(2/3)}}{\sqrt{S_o}} \right)^{(3/5)} * Q^{(3/5)} \tag{4}$$

Sehingga:

$$\alpha 1 = \left(\frac{N * P^{(2/3)}}{\sqrt{S_o}} \right)^{0.6} \text{ dan } \beta 1 = 0.6 \tag{5}$$

Turunan pertama dari Pers. (2) adalah:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha 1 * \beta 1 * Q^{(\beta 1-1)} * \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) \tag{6}$$

Substitusi Pers. (6) ke Pers. (1) diperoleh:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \alpha 1 * \beta 1 * Q^{(\beta 1-1)} * \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q_{lat} \tag{7}$$

Persamaan Dasar

Mengacu pada skema 4 titik Preisman (Gambar: 4), maka berlaku:

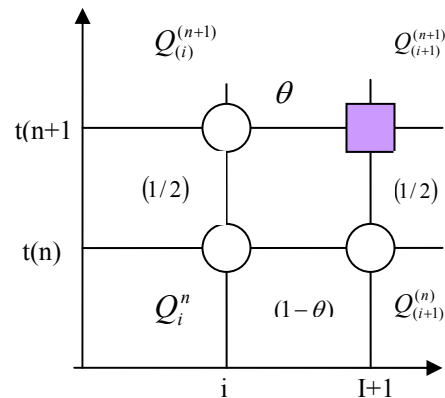
$$\frac{\partial Q}{\partial X} = \theta \left(\frac{Q_{(i+1)}^{(n+1)} - Q_{(i)}^{(n+1)}}{\Delta X} \right) + (1-\theta) \left(\frac{Q_{(i+1)}^{(n+1)} - Q_{(i)}^{(n+1)}}{\Delta X} \right) \tag{8}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t} \left((Q_i^{n+1} - Q_i^n) + (Q_{i+1}^{n+1} - Q_{i+1}^n) \right) \tag{9}$$

$$Q = \frac{\theta}{2} (Q_i^{n+1} + Q_{i+1}^{n+1}) + \frac{1-\theta}{2} (Q_i^n + Q_{i+1}^n) \tag{10}$$

Persamaan (7) ditulis ulang sebagai berikut:

$$\theta \left(\frac{Q_{(i+1)}^{(n+1)} - Q_{(i)}^{(n+1)}}{\Delta X} \right) + (1-\theta) \left(\frac{Q_{(i+1)}^{(n+1)} - Q_{(i)}^{(n+1)}}{\Delta X} \right) + \alpha 1 * \beta 1 * \frac{\theta}{2} (Q_i^{n+1} + Q_{i+1}^{n+1}) + \frac{1-\theta}{2} (Q_i^n + Q_{i+1}^n)^{(\beta 1-1)} * \frac{1}{2\Delta t} \left\{ (Q_i^{n+1} - Q_i^n) + (Q_{i+1}^{n+1} - Q_{i+1}^n) \right\} = \frac{\Delta X}{\Delta t} \left\{ \frac{\theta}{2} (AAP_i^{n+1} + AAP_{i+1}^{n+1}) + \frac{1-\theta}{2} (AAP_i^n + AAP_{i+1}^n) \right\}$$



Gambar: 4. Skema Empat Titik Preisman

Besarnya debit pada sel yang ditinjau adalah sebagai berikut:

$$Q_{i+1}^{n+1} = \frac{4 * \Delta X * \Delta t}{(\alpha 1 * \beta 1 * \theta * \Delta X * \Delta t + 4\Delta t + 2\Delta X)} * \left\{ \left(\frac{\theta}{\Delta X} + 1 \right) - \alpha 1 * \beta 1 * \frac{\theta}{2} \right\} Q_{(i)}^{(n+1)} - \frac{1-\theta}{2} (\Delta Q_i)^{(\beta 1-1)} * \left\{ \frac{1}{2\Delta t} (\Delta Q^n) + \frac{1}{2\Delta t} Q_{i+1}^n + \frac{\Delta X}{\Delta t} \left\{ \frac{\theta}{2} (AAP_i^{n+1} + AAP_{i+1}^{n+1}) + \frac{1-\theta}{2} (AAP_i^n + AAP_{i+1}^n) \right\} \right\} \tag{11}$$

Dimana komponen yang ber-indeks i menunjukkan seluruh sel yang air limpasannya mengalir ke arah sel yang sedang di-

tinjau. Dengan: Q , AAP, Δt , ΔX , β , i , dan n adalah debit, air di atas permukaan tanah, selang waktu hitungan, ukuran sel, 0,6, notasi sel, dan notasi waktu. Sedangkan θ adalah koefisien pembuat ruang pada skema Preisman.

Besarnya debit dihitung dengan Persamaan (11) yang disempurnakan dengan skema 4 titik Preissman dan koefisien kekasaran Manning.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koefisien Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi dilakukan pada 3 kelompok sistem formasi lahan, yang masing-masing tersebut kelompok memiliki karakter lahan (jenis tanah, topografi, tekstur) yang berbeda. Pengukuran kapasitas infiltrasi pada masing-masing kelompok dilakukan sesuai dengan kondisi tutupan lahan yang ada.

Koefisien koreksi kapasitas infiltrasi ialah perbandingan antara kapasitas infiltrasi suatu lahan pada jenis penggunaan tertentu dan kondisi tutupan lahan tertentu dengan kapasitas infiltrasi tanah kosong (tanpa tutupan lahan dan mekanisasi lahan). Namun dalam pengamatan di lapangan tidak mudah ditemukan, sehingga didekati dengan lahan pekarangan yang mekanisasi tanahnya tidak aktif dan dalam kondisi tidak ada tutupan lahan.

Hasil analisa rerata nilai Kk tiap jenis penggunaan lahan di perlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1: Analisa Koefisien Koreksi Kapasitas Infiltrasi (Kk)

ID	LANDUSE	KAP. INFILTRASI	SUB TOTAL	RE-RATA	Kk
SMD1	Tegalan	0,34			
SMD2	Tegalan	0,34			
SMD3	Tegalan	0,34	1,02	0,34	0,44
SMD5	Pekarangan	1,02			
SMD6	Pekarangan	1			
SMD7	Pekarangan	0,96			
SMD8	Pekarangan	0,96			
SMD9	Pekarangan	0,7			
SMD10	Pekarangan	0,8	5,44	0,78	1,00
SMD10	SwH Irigasi	0,06	0,06	0,06	0,08
BTK2	Pekarangan	4,6	4,6	4,6	1,00
BTK3	Ladang	0,12			
BTK4	Ladang	0,1	0,22	0,11	0,02
BTK1	SwH Irigasi	0,02	0,02	0,02	0,00
TGM1	Hutan	0,4	0,4	0,4	1,54
TGM5	SwH Irigasi	0,02	0,02	0,02	0,08
TGM4	Pekarangan	0,28			
TGM3	Kebun	0,24	0,52	0,26	1,00
TGM2	Tegalan	0,1	0,1	0,1	0,38

Sumber: Hasil Analisa

Tabel 2: Hasil Analisa Kk

No	Nilai Kk			
	Pekarangan	Tegalan	Sawah	Hutan
1	1,00	0,44	0,08	
2	1,00	0,02	0,00	1,54
3	1,00	0,38	0,08	
JML	3,00	0,85	0,16	1,54
R	1,00	0,42	0,05	1,54

Sumber: Hasil Analisa

Model Aliran Air Tanah

Model aliran air tanah dipilih berjenis kempal, dengan harapan akan mengurangi jumlah data yang harus disajikan agar model semakin mudah digunakan. Hal ini mengingat data-data yang berkaitan dengan aliran air tanah cukup susah diperoleh,

misalnya: peta elevasi permukaan air tanah, ketebalan lapisan tanah, dan daya hantar aquifer.

Model aliran air tanah dikembangkan dari Model F.J. Mock, dengan memperhatikan sebaran spasial dan kondisi tutupan lahan, serta sebaran jenis tanahnya.

Jenis Penggunaan dan Kondisi Tutupan Lahan

Dengan metode yang dijelaskan, hasil pengecekan kondisi penggunaan lahan jenis hutan, tegalan, kebun campuran, dan semak yang digunakan sebagai data panduan dalam klasifikasi citra ditampilkan pada Tabel 3. Sedangkan jenis penggunaan lahan lainnya dapat langsung diklasifikasi berdasarkan informasi data citra.

Tabel 3. Kondisi Penggunaan Lahan

O	KOORDINAT		KATEGORI
	X	Y	
	6	90	KEBUN CAMPURAN
	91239	92989	
	7	91	HUTAN PARSIAL
	05134	14194	
	7	91	HUTAN ASLI
	06497	15512	
	7	91	HUTAN JARANG
	05286	14320	
	7	91	HUTAN LEBAT
	05436	14300	
	6	90	TEGALAN
	08621	94857	
	6	90	SEMAK
	89809	96436	

Sumber: Hasil Survey

Kenampakan lain pada citra yang belum teridentifikasi jenis penggunaan lahannya perlu dilakukan verifikasi dengan jalan melakukan pemeriksaan ulang ke lapangan.

Ukuran Grid

Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan ukuran grid adalah sebagai berikut:

- Semakin kecil ukuran grid, akan diperoleh hasil yang semakin teliti. Hal tersebut terjadi karena semakin rapat jarak antar titik yang mewakili kondisi spasial suatu data.
- Dalam kaitannya dengan data topografi, ukuran grid dapat ditentukan sekecil mungkin, karena topografi diwakili peta kontur dengan format vektor. Dengan grid yang semakin rapat, keterwakilan relief topografi semakin tinggi sehingga informasi kondisi (dimensi dan kerapatan) sistem sungai yang ada akan terakomodasi.
- Berhubung informasi tentang jenis dan kondisi penggunaan lahan digunakan peta berformat raster hasil dari interpretasi citra satelit, maka ukuran grid terkecil yang dapat dipilih ialah sama dengan ukuran piksel dari citra yang digunakan.
- Bentuk dan ukuran suatu DAS juga merupakan faktor yang harus dipertimbangkan, karena dalam model yang dihasilkan dalam penelitian ini dibatasi jumlah maksimum kolom dan baris adalah 269 dan 290 buah.
- Waktu *running* sangat dipengaruhi oleh ukuran grid karena selain berpengaruh terhadap jumlah kolom dan baris, ukuran grid juga berpengaruh terhadap selang waktu hitungan (DT). Kedua hal tersebut tentunya mempengaruhi besarnya jumlah iterasi dalam hitungan, sehingga berpengaruh langsung terhadap waktu *running* model. Pengaruh ukuran grid terhadap besarnya selang waktu hitungan (DT) maksimum yang dapat dipilih terjadi karena dalam hitungan limpasan permukaan berlaku ketentuan bahwa DT tidak boleh lebih besar dari wak-

tu konsentrasi hujan dalam 1 sel yang terbentuk dari pembuatan grid tersebut.

Hujan

Dalam proses menghitung debit limpasan permukaan, selalu diperlukan informasi ketebalan air di atas permukaan tanah (AAP) dengan selang waktu DT. Karena data hujan yang tersedia di lapangan dengan selang waktu terpendek ialah hujan jam-jaman, maka AAP dihitung dengan jalan melakukan interpolasi linier dari data hujan pada jam terdekat.

Interpretasi Hasil Model

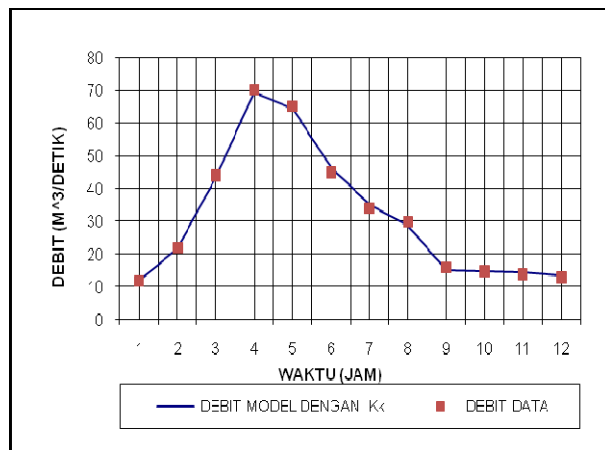
Pengujian model dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan model dalam menirukan dan menganalisa kondisi alam nyata, yang dalam hal ini digunakan parameter hidrograf debit limpasan permukaan dan aliran air rendah sebagai ukuran. Model dianggap dapat menirukan dan menganalisa kondisi nyata jika hasil hitungan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

Sebagai ukuran kesebangunan ditunjukkan dengan kemampuannya dalam menirukan trend 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. Sebagai uji model digunakan data fisik DAS Lesti, hujan sesaat dari beberapa stasiun hujan otomatis, serta debit yang diolah dari elevasi muka air yang tercatat. Hasil hitungan model yang dikembangkan dan menggunakan masukan nilai Kk memperlihatkan perubahan yang cukup signifikan.

Pengaruh pgunaan Kk dalam analisa debit limpasan permukaan diperlihatkan pada Gambar 5. Penyempurnaan nilai Kk dari berbagai penelitian, yang menganalisa pengaruh penggunaan lahan dan cara olah tanahnya diprediksi akan semakin mendekatkan hasil model ke titik-titik sebaran data hasil pengukuran. Hal ini tentunya akan meningkatkan akurasi model dan menambab keyakinan untuk dapat mengabahkan proses kalibrasi.

Model yang dikembangkan berdasarkan Model Hidrologi DAS ITN 2 ini selanjutnya disebut dengan Model Hidrologi DAS ITN 3.



Gambar 5. Debit Limpasan Permukaan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Nilai Kk untuk tanah dengan penggunaan lahan: pekarangan, tegalan, sawah, dan hutan adalah:
- 2) 1,00; 0,42; 0,05 dan 1,54.
- 3) Penyempurnaan model dilakukan dengan memperkaya parameter Kk pada berbagai jenis penggunaan dan kondisi tutupan lahan, serta memperbaiki metode numeriknya untuk meningkatkan kemampuan model dalam analisa debit banjir.
- 4) Dengan mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam analisa kapasitas infiltrasi, peran parameter kalibrasi numerik menjadi sangat kecil sehingga Model Hidrologi DAS yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisa debit banjir tanpa melalui proses kalibrasi.

Saran

Untuk meningkatkan akurasi hasil analisa debit, nilai-nilai Kk perlu diperkaya dengan penelitian yang mengakomodasi kondisi lahan berkaitan dengan pengolahan tanahnya, pada berbagai jenis dan kondisi tanah yang berbeda.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan sebesar-besarnya kepada DP2M DIKTI yang telah membantu pendanaan, Laboratorium Sungai dan Air Tanah ITN Malang yang telah membantu fasilitas pengukuran infiltrasi, serta semua pihak yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Haji, T.S. dan S. Legowo. (2001). "Pemanfaatan SIG untuk Model Hidrologi Sebar Keruangan." *Makalah disampaikan dalam PIT XVIII HATHI*, Malang.
- Kustamar. (2007). *Pengembangan Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai*. Disertasi. Tidak Diterbitkan.
- Kustamar, dan Sari Sai, S. (2008). "Penanganan Daerah Rawan Bencana Banjir Bandang Kota Larantuka NTT." *Buletin Keairan, Puslitbang SDA Bandung*. Vol.1 No.1.
- Kustamar. (2008). "Pengembangan Model Hidrologi DAS ITN 1." *Jurnal Sumber Daya Air, Puslitbang SDA Bandung*.
- Kustamar, Mundra, I.W. (2010). "Membangun Konsep Pengkondisian Terbentuknya Akuifer Buatan Di Daerah Batuan Kapur (Karst)". *Prosiding Semnas Teknik SDA 9 Nopember 2010*, Hal: 25; ISBN: NO. 978-979-98539-9-8
- Kustamar, Yulianti, E. Sari Sai, S, Sunik. (2010). "ITN-2 River Basin Hydrology Model, a Distributed-Conceptual Model for Predicting Flood without Using Calibration". *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Vol 10 No 3.
- Pitt, R., S.E.Chen, and S.Clark. (2001). *Infiltration Trough Compacted Urban Soil and Effects on Biofiltration Design*, Presented at the Low Development Roundtable Conference. <http://www.personal.psu.edu/faculty/s/e/sec16/Maryland%20LID%20roundtable%20abstract.htm>. 3 April 2004.
- Rawls, W.J., D.L. Braken Siek, and K.E. Saxton. (1982). "Estimation of Soil Water Propertis", *Transactions of the American Society of Agriculture Engineering*, Vol.25 No. 5. PP. 1316 – 1320.
- Singh, V.P., and D.A.Woolhiser. (2002). "Mathematical Modeling of Watershed Hydrology." *Jurnal Of Hydrology Engineering*, July/August 2002, hal. 270-292.

- Suhartanto, E. (2001). *Optimasi Pengelolaan DAS di Sub DAS Cidanau Kab. Serang Propinsi Banten Menggunakan Model Hidrologi ANSWERS*. http://ruduct.250x.com/sem1_012/erysuhar-tanto.htm. 21 Juni 2004.
- Suharto, B. (2002). "Modeling Hidrologi Untuk Pengelolaan Sumberdaya Air Dan Peramalan Hidrograf Banjir Pada Daerah Aliran Sungai." *Naskah Pidato Pengukuhan sebagai Guru Besar Teknik Tanah dan Tata Air*, UNBRAW. Malang.
- Van Dijk, A. I.J.M. (2002). "Water and Sediment Dynamics in Bench-terraced Agricultural Steeplands in West Java, Indonesia." Tesis. <http://www.geo.vu.nl/~trendy/fullthesis.pdf>. 19 Sept. 2004.
- Yeo, I.Y., S.I.Gordon, and J.M.Guldmann. (2003). *Optimizing Patterns of Land Use to Reduce Peak Runoff Flow and Non-point Source Pollution with an Integrated Hydrological and Land- Use Model*. <http://knowlton.osu.edu/KSAstudent/crp/Gordon/yeo.pdf>. 12 Juli 2004.