PENDUGAAN DEBIT SUNGAI BERDASARKAN HUJAN DENGAN MENGGUNAKAN MODEL TANGKI DI DAS CIDANAU, SERANG

River Run Off Prediction Based on Rainfall Data Using Tank Model

Sutoyo[1] dan M.Yanuar J. Purwanto[2]

Abstrak

River run off model using tank model has been formulated to the natural river of Cidanau, Serang, West Java. The model consists of four tanks represent four land use zones. The parameter of the tanks were optimized using the observed data of infiltration capacity, daily rainfall and daily river discharge for an entire years. The advantages of this model is determination of the first tank parameter using injiltration capacity. This parameter was directly determined based on infiltration measurement for the respective land use zone. The application of this model was utilized for revising the discharge data since several period of the recorded data were not accurate.

Key Words: rainfall run off model, tank model, infiltration

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Hujan merupakan salah satu unsur iklim yang berpengaruh pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Pengaruh langsung yang dapat diketahui yaitu potensi sumber daya air. Besar kecilnya sumber daya air pada suatu DAS sangat tergantung dari jumlah curah hujan yang ada pada DAS.

Untuk keperluan perencanaan pengembangan sumber daya air pada suatu kawasan DAS, diperlukan seperangkat data yang memadai mulai dari data hujan sebagai masukan, karakteristik DAS itu sendiri secara keseluruhan dan data debit sungai sebagai keluaran.

Kendala umum yang dihadapi dalam analisis perencanaan adalah kurang tersedianya data debit sungai, akan tetapi data curah hujan tersedia cukup memadai. Suatu model hidrologi yang menggambarkan hubungan antara hujan dengan debit sungai berdasarkan beberapa parameter fisik DAS dapat dibuat untuk mengatasi kendala tersebut. Dengan model hidrologi tersebut dapat dibuat prediksi besarnya debit sungai.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan memodifikasi model tangki untuk menduga besarnya limpasan total berdasarkan kejadian hujan dan kapasitas infiltrasi

[1] *Alumnus Jurusan Teknik Pertanian FATETA*
[2] *Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian FATETA*

pada lahan. Model tersebut untuk mengetahui besarnya debit harian suatu sungai dari setiap kejadian hujan harian dalam suatu DAS dan dapat dipakai untuk melakukan simulasi debit.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air Limpasan *(run off)*

Air limpasan (run *off*) adalah bagian dari presipitasi yang mengalir menuju saluran, danau atau lautan sebagai aliran permukaan dan bawah permukaan (Schwab *et al*, 1966). Sebelum terjadi run *off*, presipitasi terlebih dahulu memenuhi kebutuhan untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi dan *surface* storage.

Menurut Ward (1967), sumber dan komponen utama run *off* adalah:

1. Presipitasi langsung (direct *precipitation*)

Hujan yang langsung masuk ke dalam saluran memiliki persentase yang kecil dari seluruh volume air yang mengalir. Walaupun daerah luas, tapi akan terevaporasi pula sehingga sulit untuk diperkirakan besarnya, oleh karena itu biasanya diabaikan dalam perhitungan.

2. Limpasan permukaan (surface run *off*)

Limpasan permukaan adalah air yang mengalir di atas permukaan tanah baik sebagai aliran tipis di permukaan tanah atau sebagai aliran disaluran.

3. Aliran antara (inter-ow)

Sebagian hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah akan meyebar dan mengalir secara lateral. Aliran yang terjadi ini merupakan aliran antara. Kontribusi aliran antara terhadap total limpasan permukaan (total run *off*) tergantung dari karakteristik tanah daerah tangkapan (*catchment*).

4. Base flow

Base *flow* adalah sebagian hujan yang terperkolasi ke dalam menembus lapisan tanah dan pada akhirnya akan mengisi saluran sungai.

B. Curah Hujan, Infiltrasi dan Perkolasi

Curah hujan adalah salah satu parameter penting dalam sistem DAS, terutama sebagai salah satu mata rantai daur hidrologi yang berperan menjadi pembatas adanya potensi sumberdaya air didalam suatu DAS. Rata-rata curah hujan sering dibutuhkan dalam penyelesaian masalah hidrologi, seperti penelusuran masalah banjir, penentuan ketesediaan air untuk irigasi ataupun untuk mendesain bangunan-bangunan air.

Proses masuknya air hujan ke dalam tanah dan turun ke permukaan air tanah di sebut infiltrasi. Proses infiltrasi melibatkan tiga proses yang saling tidak tergantung yaitu, proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah, tertampungnya air hujan tersebut di dalam tanah dan proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain.

Asdak (1995) menjelaskan, proses infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, tekstur dan struktur tanah, persediaan air awal (kelembaban tanah), kegiatan biologi dan unsur organik, jenis dan kedalaman serasah, dan tumbuhan bawah atau tajuk penutup tanah lainnya.

Perkolasi merupakan pergerakan air bebas ke bawah yang membebaskan air dari lapisan atas dan bagian atas dari lapisan bawah tanah ke tempat yang lebih dalam dan merupakan air berlebih. Perkolasi dapat digolongkan atas perkolasi vertikal (gerak ke bawah) dan perkolasi horizontal (gerak ke samping).

C. Evapotranspirasi (ETo)

Evapotranspirasi adalah peristiwa menguapnya air dari tanaman dan tanah atau permukaan air yang menggenang. Dengan kata lain, besarnya evapotranspirasi adalah jumlah antara evaporasi dan transpirasi.

Evapotranspirasi merupakan salah satu faktor penting yang terjadi dalam siklus hidrologi. Pengaruh evapotranspirasi di daerah tropis pada umumnya, dapat mempercepat terjadinya kekeringan dan penyusutan debit sungai pada musim kering (Asdak,1995).

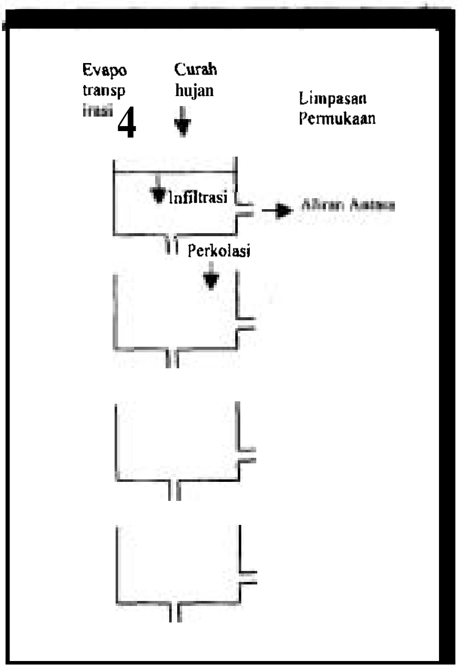
D. Model Hidrologi

Dalam pengertian umum model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana dari sebuah sistem hidrologi yang kompleks. Menurut Linsley (1982), pengertian matematis dari persamaan-persamaan dan cara-cara untuk melukiskan perilaku "Model Hidrologi" dipakai untuk memberikan gambaran matematis yang relatif kompleks bagi daur hidrologi yang penyelesaiannya didesain pada sebuah komputer.

Penggunaan model dapat membantu agar kita mudah memperkirakan lewat pendekatan yang ada seperti pendekatan deterministik atau probabilistik.

1. Model Tangki

Menurut Sugawara (1961), model tangki adalah suatu metoda non-linier yang berdasarkan kepada hipotesis bahwa aliran limpasan dan infiltrasi merupakan fungsi dari jumlah air yang tersimpan di dalam tanah. Secara skematis, struktur model tangki dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Model Tangki

Sebuah tangki dengan saluran pengeluaran disisi mewakili limpasan, saluran pengeluaran bawah mewakili infiltrasi, dan komponen simpanan dapat mewakili proses limpasan didalam suatu atau sebagian daerah aliran sungai. Beberapa tangki serupa yang pararel dapat mewakili suatu daerah aliran sungai yang besar (Linsey, et *al.* 1982)

Banyak penelitian telah dilakukan dengan menggunakan model tangki. Selain oleh Sugawara sendiri sebagai peneinunya yang menganalisa limpasan pada beberapa sungai di Jepang (1961) dan berhasil dengan baik, model tangki juga digunakan luas pada berbagai DAS, seperti DAS Ciliwung (Yoshida, et *al.*1998), DAS Progo (Darmadi,1986) dan DAS Mekong (Goto, 1993).

2. Proses Terjadinya Limpasan dalam Model Tangki

Program model tangki disusun dengan menggunakan bahasa FORTRAN dan terdiri dari persamaan-persamaan matematik yang menggambarkan proses komponen limpasan hujan yang jatuh diatas tanah di suatu DAS.

Curah hujan yang jatuh diatas permukaan bumi akan terinfiltrasi ke dalam tanah. Selain terinfiltrasi ke dalarn tanah, terjadi pula proses evapotranspirasi. Air yang terinfiltrasi selanjutnya akan mengisi simpanan (storage) didalan tanah. Setelah simpanan mencapai maksimum (kejenuhan) terjadilah aliran antara (*interflow*) dan air akan terperkolasi hingga akhirnya menjadi aliran dasar (base *flow)*. Aliran-aliran ini selanjutnya akan terkumpul (*total* run *off*) menjadi debit sungai.

Masukan program berupa curah hujan dan evapotranspirasi harian dan menghasilkan keluaran berupa debit total limpasan harian.

METODOLOGI

A. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Juli 1999 sampai dengan November 1999, dan bertempat di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cidanau, Serang, Jawa Barat dan di Laboratorium Teknik Tanah dan Air, FATETA, Institut Pertanian Bogor.

B. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Curah Hujan (1988 – 1998)
2. Peta Topografi DAS
3. Peta Tata Guna Lahan 5 tahun terakhir
4. Data Klimatologi (1988 – 1998)
5. Data Debit Sungai Cidanau Harian (1994 – 1998)
6. Data Jenis Tanah

Alat-alat yang digunakan yaitu Double ring *infiltrometer*, penggaris, Stopwatch, ember, ring sampel, altimeter, kompas, alat menghitung, menggambar dan tulis menulis, beberapa software dan alat pendukung lainnya.

C. Metode Penelitian

1. Penyusunan model hujan limpasan.

Penyusunan tangki pada DAS Cidanau yaitu DAS Cidanau dibagi menjadi empat tangki berdasarkan tata guna lahan. Tangki pertama merupakan Rawa Danau, Tangki kedua merupakan daerah hutan (hulu), tangki ketiga merupakan daerah perkebunan dan tangki ke empat merupakan persawahan.

2. Pengumpulan data.

a. Pengumpulan data sekunder.
   Pengumpulan data yang dilakukan mencakup data hu-jan dan data klimatologi, tata guna lahan, iklim dan debit sungai.
b. Pengumpulan data primer.

Pengumpulan data primer yang dilakukan yatu pengukuran infiltrasi di lapangan. Pengukuran infiltrasi di-lakukan berdasarkan jenis tata guna lahan. Pengukuran infil-trasi dilapang menggunakan ***double ring infiltrometer***.

3. Analisis.

Tahap-tahap analisis data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Penentuan Curah Hujan Wi-layah Penentuan curah hujan wilayah dilakukan dengan metoda poligon *Thiessen.*

b. Penentuan Evapotranspirasi Penentuan Evapotraspirasi dengan menggunakan metode Penman Modifikasi.

c. Analisis kapasitas infiltrasi Analisis kapasitas infiltrasi dilakukan menurut Holtan (1961), yaitu dengan persamaan:

$$\mathbf{f} = GIASa^{1.4} + fc$$

Keterangan:

f : kapsitas infiltrasi (mm/jam)

A : kapasitas infiltrasi per jam per (mm)$^{1.4}$ simpanan air

S_a : simpanan air lapisan permukaan

fc : laju infiltrasi konstan

GI : indeks pertumbuhan tanaman/persen kematangan

Persamaan ini mengasumsikan bahwa kandungan air tanah, porositas dan ke-dalaman akar adalah faktor-faktor dominan yang mempengaruhi infiltrasi dan perhitungan besarnya kapasitas infiltrasi berdasarkan sim-panan aktual kandungan air tanah pada waktu tertentu (Fleming, 1975).

d. Pembentukan Model Tangki Model tangki dibentuk dengan persamaan-persamaan mate-matis yang menggambarkan proses-proses limpasan yang terjadi pada DAS. Proses limpasan yang terjadi yang dimulai dari proses hujan, infiltrasi, serta perkolasi hingga terbentuk aliran antara yang pada akhirnya terbentuk aliran dasar. Akumulasi dari semua jenis limpasan tersebut meru-pakan debit sungai pada suatu DAS.

e. Penyusunan program. Prosedur pendugaan total limpasan dilakukan dengan bantuan komputer dan soft-ware yang menggunakan bahasa FORTRAN. Persa-maan-persamaan matematis yang merupakan penggam-baran proses limpasan di ubah ke dalam Bahasa FORTRAN sehingga menjadi suatu program/model untuk penen-tuan total limpasan yang terjadi untuk suatu waktu tertentu.

f. Kalibrasi model Kalibrasi model dilakukan secara coba ulang ber-dasarkan data hasil perhitung-an infiltrasi dengan meng-gunakan data curah hujan harian dan data evapotrans-pirasi harian tahun 1996 se-hingga didapat debit dugaan yang nilainya mendekati/-sama dengan data peng-ukuran debit tahun 1996 dengan nilai koefisien deter-minasi lebih dari 0.5 yang berarti bahwa hasil keluaran model telah menggambarkan kebenaran lebih dari 50% terhadap data aktual.

4. Uji keabsahan model

Uji keabsahan model dila-kukan dengan melakukan simulasi pendu-gaan debit dengan menggunakan model yang telah dikalibrasi menggunakan data curah hujan dan data evapo-transpirasi harian tahun 1997.

Tolok ukur uji keabsahan model didasarkan pada:

a. Penampilan hubungan antara debit dugaan dan debit aktual secara grafik sehingga dapat ditentukan nilai mutlak (maksimum – minimum) data yang diperoleh.
b. Nilai koefisien determinasi (R^2) dengan persamaan:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\Sigma(Yi - yi)^2}{\Sigma(Yi - \bar{Y})^2} \right)$$

Keterangan:
Yi : Debit data ke-i
yi : Debit model ke-i
$\bar{Y}$: Rata-rata debit data

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Keadaan Umum Daerah Penelitian

1. Lokasi dan luas wilayah

Daerah penelitian adalah wilayah DAS Cidanau di Propinsi Jawa Barat. Secara administratif DAS ini men-cakup 2 wilayah kabupaten yaitu kabupaten Serang dan kabupaten Pandeglang.

Secara geografis DAS Cidanau berada pada 105° 49' 17" BT sampai 106° 06' 03" BT dan 06° 08' 25" LS sampai 06° 15' 47" LS.

Luas wilayah DAS Cidanau seluruhnya 22 620 ha yang terbagi menjadi 6 Sub DAS yaitu, Cikalumpang, Cisaat, Cisawarna, Cicangkedan, Cikondang dan Cibojong. Sub DAS Cisaat dan Sub DAS Cisawarna merupakan wilayah hulu DAS Cidanau. Pada wilayah gabungan dua Sub DAS ini terdapat Rawa Danau. Rawa Danau merupakan bagian paling hulu dari Sungai Cidanau. Sub DAS Cikalumpang dan Sub DAS Cibojong merupakan wilayah tengah bagian DAS Cidanau. Sub DAS Cikondang dan Sub DAS Cicangkedan merupakan wilayah DAS Cidanau bagian hilir dan berbatasan langsung dengan Selat Sunda, tempat bermuaranya Sungai Cidanau. Sungai Cidanau sebagai sungai utama terletak di wilayah DAS bagian tcngah dan hilir.

2. Iklim

Keadaan iklim kabupaten Serang dipengaruhi oleh dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Iklim tropis dengan tem-peratur rata-rata 26.5 °C, temperatur maksimum rata-rata 31.7 °C dan temperatur minimum rata-rata 22.5 °C dengan ketinggian 25 – 600 m di atas permukaan laut. Angin barat dan tenggara yang bertiup setiap 6 bulan sekali, baik pada musim hujan atau musim kemarau, curah hujan rata-rata 2000 – 3000 mm/tahun. Curah Hujan yang cukup tinggi pada bulan-bulan Desember, Januari, Pebruari dan Maret.

Tabel 1. Luas Sub DAS

No	Sub DAS	Luas (ha)	%	Wilayah Administrasi
1	Cisawarna	3820	16.89	Kecamatan : Ciomas, Pabuaran, Padarincang
2	Cisaat	61001	26.97	Kecamatan : Ciomas, Pabuaran, Padarincang
3	Cikalumpang	7200	31.83	Kecamatan : Padarincang, Pabuaran, Mandalawangi
4	Cibojong	3000	13.26	Kecamatan : Cinangka, Padarincang, Mandalawangi
5	Cicangkedan	1300	5.75	Kecamatan Cinangka
6	Cikondang	1200	5.31	Kecamatan Cinangka
	Jumlah	22620	100.00	

3. Topografi

Kabupaten Serang merupakan wilayah dengan ketinggian antara 25 sampai dengan lebih dari 1300 m diatas permukaan laut. Berdasarkan ketinggian , Kabupaten Serang da-pat dibagi menjadi dua yaitu: daerah dengan ketinggian 25 m sampai dengan 600 m dan daerah dengan ketinggian lebih dari 600 m sampai dengan 1300 m. Daerah yang mempunyai ketinggian lebih dari 600 m terdapat diperbukitan Gunung Karang. Sedangkan yang lainnya kurang dari 600 m dari permukaan laut. Kemiringan lahan bervariasi mulai dari yang datar hingga bergelombang. Wilayah yang terbesar yaitu 39.36 % yang merupakan wilayah datar. Wilayah ini tersebar pada seluruh Sub DAS dengan wilayah terluas di Sub DAS Cikalumpang.

4. Jenis Tanah dan Tata guna Lahan

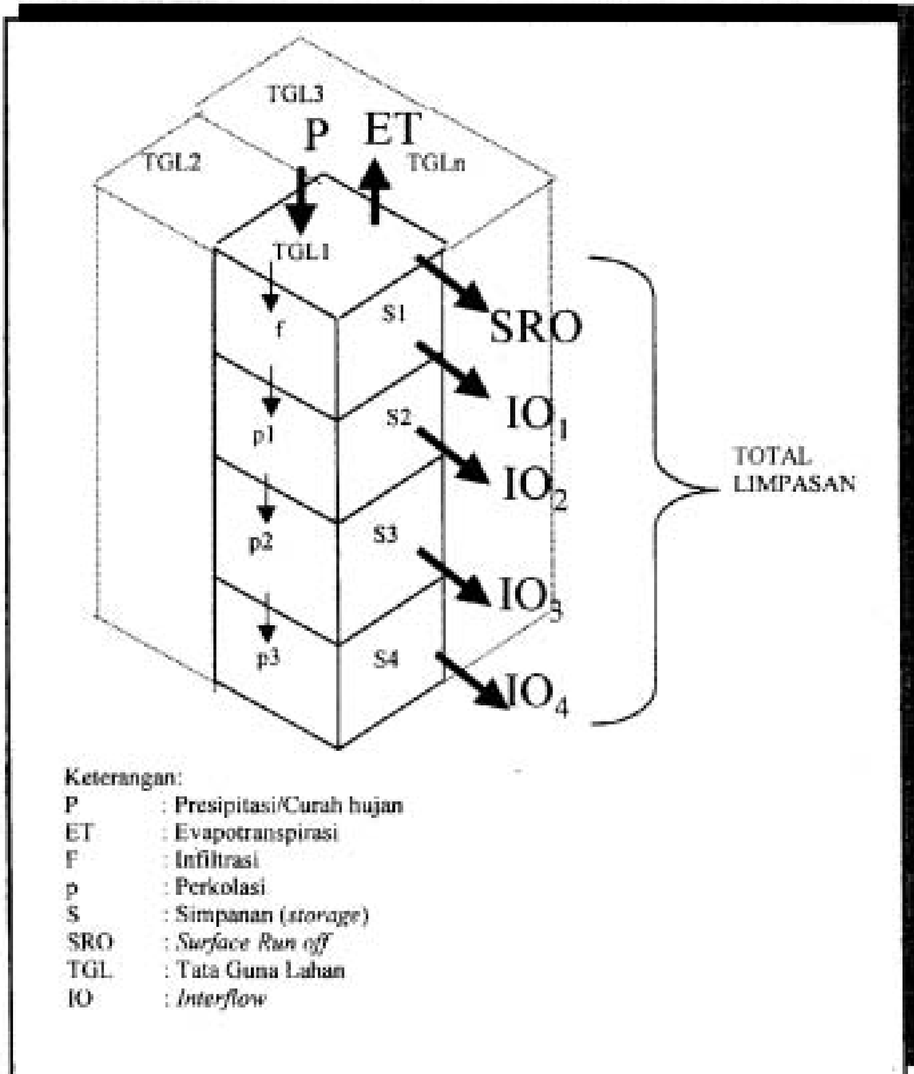
Jenis tanah yang terdapat di DAS Cidanau adalah Latosol, Regosol, Alluvial dan Andosol. Tanah-tanah tersebut berasal dari batuan induk *undefferentiated vulcanic product* seluas 20482 ha (90.55%) dan bahan induk lainnya *Miocene Sedimentary* 1307 ha (5.78 %) dan *Alluvium* seluas 831 ha (3.67 %).

Tata guna lahan yang ada di DAS Cidanau meliputi sebagian besar perkebunan dan persawahan. Selain itu penggunaan lahan juga untuk tegalan, pemukiman, hutan rakyat dan hutan rawa.

Tabel 4. Jumlah dan Jenis Penggunaan Lahan di DAS Cidanau

No.	Tata Guna Lahan	Luas (Ha)	Luas (%)
1.	Sawah	7748.263	34.25
2.	Tegalan	121.875	0.54
3.	Perkebunan	8304.258	36.71
4.	Pemukiman	343.920	1.52
5.	Hutan	4192.942	18.54
6.	Rakyat Hutan Rawa	1908.743	8.44
	Jumlah	22620.000	100.00

Sumber : Balai RLKT Kabupaten Serang, tahun 1994.



Gambar 2. Penyusunan Model Tangki DAS Cidanau

B. Analisis Infiltrasi

Pengukuran dan analisa infiltrasi didapat nilai kapasitas infiltrasi yang merupaka nilai rata-rata selama 24 jam (1 hari) untuk lokasi 1 yaitu sebesar 3.01 mm/jam, untuk lokasi 2 sebesar 2.06 mm/jam dan lokasi 3 sebesar 1.65 mm/jam.

Dari hasil infiltrasi, maka nilai rata-rata kapasitas infiltrasi akan digunakan sebagai salah satu koefisien yang digunakan dalam model tangki yaitu koefisien infiltrasi tangki, yang merupakan salah satu parameter di tanki yang paling atas. Parameter ini akan menentukan besarnya koefisien lubang tangki kearah bawah atau nilai z pada daerah tertentu sesuai dengan kapasitas infiltrasi tersebut.

Hasil pengukuran infiltrasi yang dilakukan di lapang diperoleh nilai parameter z pada tingkat satu di setiap tangki seperti dalam Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Koefisien z pada tingkat satu di setiap daerah/tangki

Daerah/tangki ke	Nilai z pada tingkat satu
TANGKI 1	0.1803
TANGKI 2	0.0991
TANGKI 3	0.1236
TANGKI 4	0.1803

C. Penyusunan Model Tangki

Penyusunan model tangki pada DAS Cidanau di bagi' ke dalam empat kelompok tangki yang mewakili tata guna lahan utama.

D. Analisis Model Tangki Dan Perbandingannya Dengan Hasil Pengukuran

1. Masukan pada model

Masukan pada model tangki terdiri atas masukan berupa besar hujan harian (mm) serta nilai evapotranspirasi (mm) harian. Masukan hujan pada model dilakukan di setiap jenis tangki sesuai dengan hasil analisa hujan dengan metoda Thiessen dan masukan nilai evapotranspirasi diperoleh dengan menggunakan metoda Penman modifikasi.

2. Kalibrasi Model

Kalibrasi model dilakukan dengan menggunakan data curah hujan dan evapotranpirasi tahun 1996 harian. Setelah didapat hasil berupa debit simulasi, kemudian dilakukan secara coba ulang parameter-parameter kalibrasi. Nilai-nilai koefisien diubah-ubah hingga nilai debit simulasi mendekati nilai debit aktual.

Kalibrasi model dilakukan parameter mencakup besarnya nilai perkolasi (z), besarnya nilai lubang sisi samping tangki (a) yang menjadi aliran antara/aliran dasar, besarnya nilai kandungan air tanah (xx) serta besarnya simpanan maksimum dalam tanah (dmax) untuk setiap tingkat tangki.

Penentuan nilai z pada tangki di tingkat pertama di dasarkan pada kapasitas infiltrasi pada daerah tertentu. Nilai kapasitas infiltrasi dikalikan dengan lama hujan maksimum yang diasumsikan selama 3 jam dan besarnya nilai curah hujan maksimum sebesar 50 mm, penentuan nilai z untuk tingkat selanjutnya berdasarkan proporsi besarnya air yang masuk ke dalam tanah yang akan semakin berkurang sesuai dengan kedalaman tanah. Nilai koefisien kalibrasi z dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Koefisien z

	TANGKI 1	TANGKI 2	TANGKI 3	TANGKI 4
Tingkat 1	0.1803	0.0991	0.1236	0.1803
Tingkat 2	0.0800	0.0350	0.0550	0.0900
Tingkat 3	0.0180	0.0100	0.0100	0.0280
Tingkat 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Penentuan nilai koefisien a, xx dan dmax dilakukan secara coba ulang hingga mendapatkan nilai yang tepat yang menghasilkan keluaran debit simulasi yang nilainya mendekati dengan nilai aktual data pengukuran.

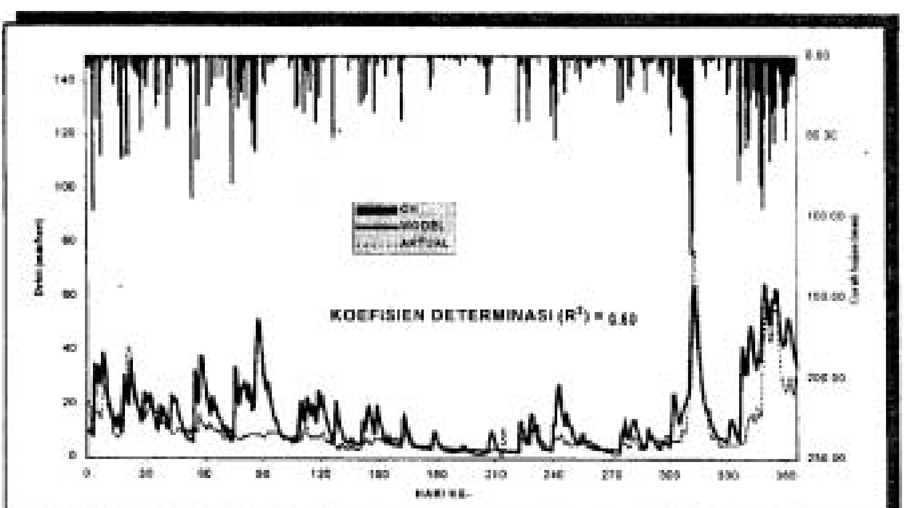
Tabel 8. Nilai Koefisien a,xx,dmax

Tangki	Tingkat	a	xx	max
1	1	0.08000	70.00	250.00
	2	0.01000	25.00	300.00
	3	0.00700	120.00	350.00
	4	0.00280	550.00	500.00
2	1	0.08000	5.00	150.00
	2	0.01000	10.00	350.00
	3	0.00100	120.00	380.00
	4	0.00085	500.00	500.00
3	1	0.07000	5.00	170.00
	2	0.00500	10.00	250.00
	3	0.00050	80.00	270.00
	4	0.00035	155.00	500.00
4	1	0.08000	25.00	200.00
	2	0.01000	25.00	380.00
	3	0.00080	120.00	350.00
	4	0.00055	255.00	500.00

Penentuan nilai dmax ditentukan dengan mengasumsikan bahwa nilai dmax tidak melebihi simpanan maksimum yang merupakan pengurangan antara total curah hujan yang terjadi dengan total evapotrasnpirasi yang terjadi.

3. Pengujian Keabsahan Model

Nilai debit simulasi dikatakan telah mendekati nilai yang sebenarnya diketahui dengan penghitungan koefisien determinasi (R^2) antara debit simulasi dengan debit terukur hingga mencapai nilai lebih dari 0.5. Untuk pengkalibrasian dengan data tahun 1996 didapatkan nilai koefisien deter-minasi sebesar 0.6 sehingga model sudah layak digunakan. Penerapan model dengan menggunakan data tahun 1997 mendapatkan hasil nilai koefisien determinasi sebesar 0.78 dan menghasilkan nilai debit harian rata-rata sebesar' 19.34 m^3idet, nilai debit maksimum sebesar 101.05 m^3/det , nilai debit minimum sebesar 4.97 m^3/det serta nilai debit harian total tahun 1997 sebesar 7056.03 m^3/tahun.



Gambar 7. Grafik Hasil Kalibrasi Dengan Menggunakan Data Tahun 1996