

MODEL SIMULASI TRANSFER HUJAN-ALIRAN PERMUKAAN (MODEL H2U) UNTUK PENDUGAAN DEBIT DAERAH ALIRAN SUNGAI

(Simulation Model of Rainfall-Runoff Transfer/H2U Model for Calculate Discharge of Watershed)

N. Heryani ¹⁾, H. Pawitan ²⁾, dan G. Irianto¹⁾

1) Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi

2) Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPI-IPB

ABSTRACT

The research of rainfall-runoff transfer model to calculated the discharge of watershed were conducted in Oyo watershed, Gunungkidul, DIY. Result of the experiment could be used to reconstruction the discharge of watershed there are not available water level recorder. The paper discussed about the result of discharged simulation based on H2U method and classic method which calculated of base flow and runoff. The result of the experiment showed that the curve of the simulation and calculated discharge were indicated the same characteristic, and they have similar of peak discharge and time to peak discharge.

Key words : H2U model, Discharge, Rainfall-runoff transfer, Hidrograph, Oyo watershed

ABSTRAK

Penelitian mengenai simulasi model transfer hujan-aliran permukaan untuk mengetahui debit daerah aliran sungai dilakukan di DAS Oyo, Gunungkidul, DIY Hasil penelitian dapat dipergunakan untuk merekonstruksi debit di daerah aliran sungai yang tidak tersedia alat duga muka air. Pada tulisan ini disampaikan hasil perbandingan simulasi debit berdasarkan metode H2U dengan perhitungan debit berdasarkan metode klasik yang memperhitungkan aliran dasar dan aliran permukaan.. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun terjadi pergeseran bentuk kurva debit simulasi dibandingkan dengan kurva pengukuran tetapi pada umumnya hidrograf yang dihasilkan mempunyai karakteristiknya sama, bentuk umum hidrografnya identik, debit puncak serta waktu responnya serupa. Metode tersebut berhasil dengan baik dalam memodel debit puncak, waktu respon dan bentuk umum hidrograf.

Kata Kunci : Model H2U, Debit, transfer hujan –aliran permukaan, Hidrograf, DAS Oyo

PENDAHULUAN

Produktivitas tanah yang sangat rendah karena ketidakpastian sumber daya air antar waktu dan antar wilayah pada musim kemarau di lahan kering dapat mengakibatkan pasokan air untuk keperluan usahatani berkelanjutan menjadi terganggu. Selain itu laju aliran permukaan yang tinggi akibat curah hujan harian yang tercurah dalam jumlah tinggi dan dalam waktu relatif singkat dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah, rendahnya cadangan lengas tanah sehingga mengakibatkan sebagian besar tanah tidak dapat dibudidayakan. Di lain pihak pada musim hujan, tingginya curah hujan dan rusaknya daerah aliran sungai (DAS) menyebabkan hanya sebagian kecil saja volume air hujan yang dapat ditampung melalui infiltrasi dan intersepsi dan sebagian besar akan ditransfer menjadi aliran permukaan. Untuk melaksanakan pengelolaan DAS yang tepat, terutama untuk mengetahui potensi sumberdaya airnya, selain pengamatan infiltrasi, intersepsi,

evapotranspirasi dan faktor-faktor lain yang mempengaruhinya, juga diperlukan ketersediaan alat pengukur duga muka air.

Model simulasi transfer hujan-aliran permukaan (model H2U) yang telah dikembangkan oleh Duchesne dan Cudennec (1997) merupakan model persamaan matematik yang dikembangkan berdasarkan deskripsi kuantitatif jaringan drainase orde 1. Model ini dapat digunakan untuk mensimulasi kurva debit sesaat sebuah sungai dengan hanya memerlukan masukan data hujan sesaat. Dengan mengetahui model simulasi transfer hujan-aliran permukaan, kita dapat membuat perkiraan kurva debit banjir dengan berbagai alternatif masukan data intensitas hujan sesaat tanpa perlu mengukur debit secara langsung di lapang. Hal ini akan bermanfaat terutama untuk mengetahui debit di suatu sungai yang tidak memiliki peralatan pengukur duga muka air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi sumberdaya air DAS hubungannya dengan karakteristik hidrologi DAS terutama debit puncak dan waktu responnya.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

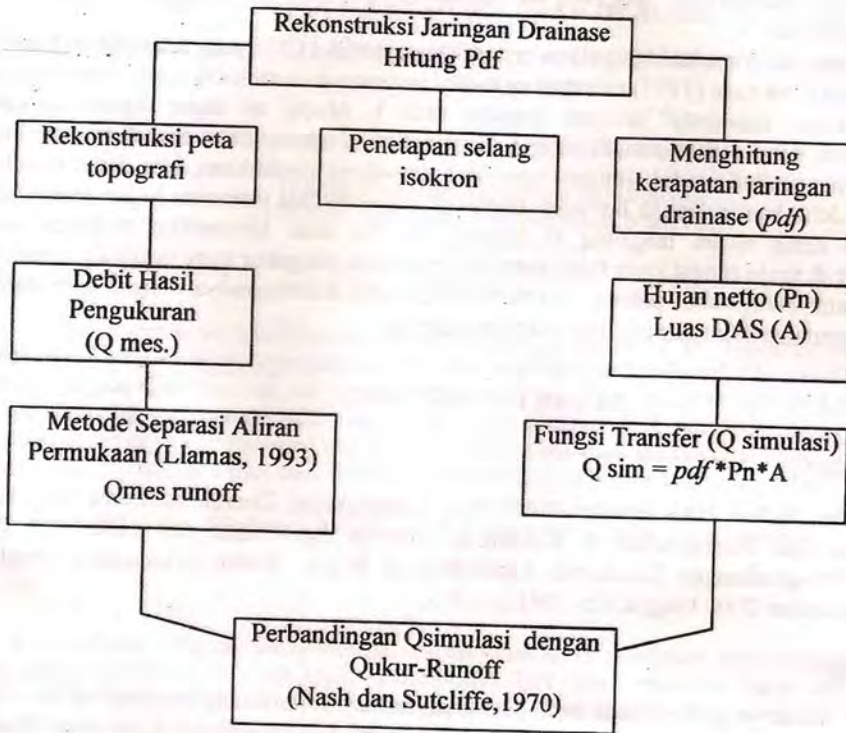
Penelitian di Sub DAS Bunder, DAS Oyo, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Analisis data dilaksanakan di Kelompok Peneliti Agroklimat dan Hidrologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat di Bogor. Waktu pelaksanaan penelitian mulai bulan Nopember 2000 hingga Mei 2001.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari: peta topografi skala 1:1000, peta jenis tanah, peta penggunaan lahan, peta jaringan hidrologi, *GPS (Global Positioning System)*, alat pengukur tinggi muka air otomatis (AWLR), alat pengukur iklim otomatis (AWS), planimeter, personal komputer, dan alat tulis kantor.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam bentuk identifikasi dan karakterisasi melalui pengamatan lapangan, analisis data, dan simulasi debit. Diagram alir penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perbandingan debit pengukuran dan simulasi

Rekonstruksi Jaringan Drainase

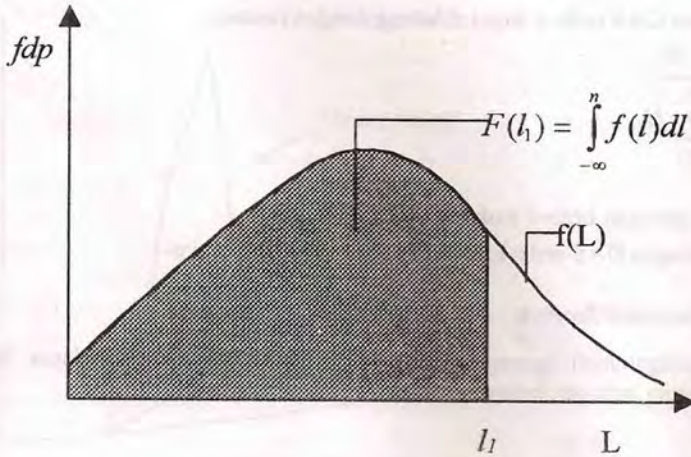
Fungsi kerapatan/kepekatan peluang (Pdf) merupakan fungsi dari l , ditulis sebagai $f(l)$. Luas area di bawah Pdf menunjukkan peluang kejadian (Gambar 2). Luasan di bawah Pdf dari $l = -\infty$ sampai $l = +\infty$ adalah 1 (Bedient dan Huber, 1992).

$$P(l_1 \leq x \leq l_2) = \int_{l_2}^{l_1} f(l) dl \quad \int_{-\infty}^{\infty} f(l) dl = 1$$

Peluang suatu peubah acak $L \leq l_1$ adalah:

$$F(l) = P(-\infty \leq l \leq l_1) = \int_{-\infty}^{l_1} f(l) dl$$

$$\text{dan } P(l_1 \leq l \leq l_2) = F(l_1) - F(l_2) \quad 0 \leq F(l) \leq 1$$



Gambar 2. Fungsi Kepekatan Peluang (Pdf)

a. Kerapatan Jaringan Drainase Pengukuran

Peta jaringan drainase diperoleh berdasarkan rekonstruksi peta topografi skala 1:1000. Selanjutnya ditetapkan *isokron* yaitu titik-titik di dalam jaringan hidrologi yang mempunyai waktu tempuh yang sama menuju outlet, dan membuat kurva kerapatan jaringan DAS orde-1 dari hulu ke hilir.

Dalam menetapkan kerapatan jaringan drainase DAS orde-1 pada setiap isokron, harus ditetapkan selang isokron, dan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\Delta l(L) = \bar{V} \cdot t$$

$\Delta l(L)$: interval isokron (m)

\bar{V} : kecepatan rata-rata aliran (m/det)

t : selang waktu pengamatan (6 menit/360 detik)

Selang isokron ditetapkan 6 menit, hal ini disesuaikan dengan interval waktu pengukuran hujan dan debit. Kecepatan aliran rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{V} = \frac{L_{rata-rata}}{T_r}$$

\bar{V} : kecepatan rata-rata aliran (m/det)

$L_{rata-rata}$: panjang rata-rata sungai orde-1 (m)

T_r : waktu respon DAS (detik)

Kerapatan jaringan DAS orde-1 dapat dihitung dengan rumus:

$$\rho_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$$

ρ_i : kerapatan jaringan orde-1 isokron ke-I

N_i : jumlah jaringan DAS orde-1 yang terdapat pada isokron ke-I

b. Kerapatan Jaringan Drainase Teoritik

Selain dengan pengamatan lapang, kerapatan jaringan drainase juga dapat ditentukan dengan menghitung kerapatan jaringan secara teoritis, dengan persamaan berikut:

$$\rho(L) = \left(\frac{n}{2\bar{L}} \right)^{n/2} \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2} - 1\right)} L^{n/2-1} \cdot e^{-nL/2\bar{L}}$$

$\rho(L)$: kerapatan DAS elementer/(DAS order 1 sebagai fungsi panjang lintasan air (panjang saluran drainase)

n : order maksimum DAS menurut kriteria Strahler

\bar{L} : panjang rata-rata lintasan air di DAS

Γ : fungsi gamma

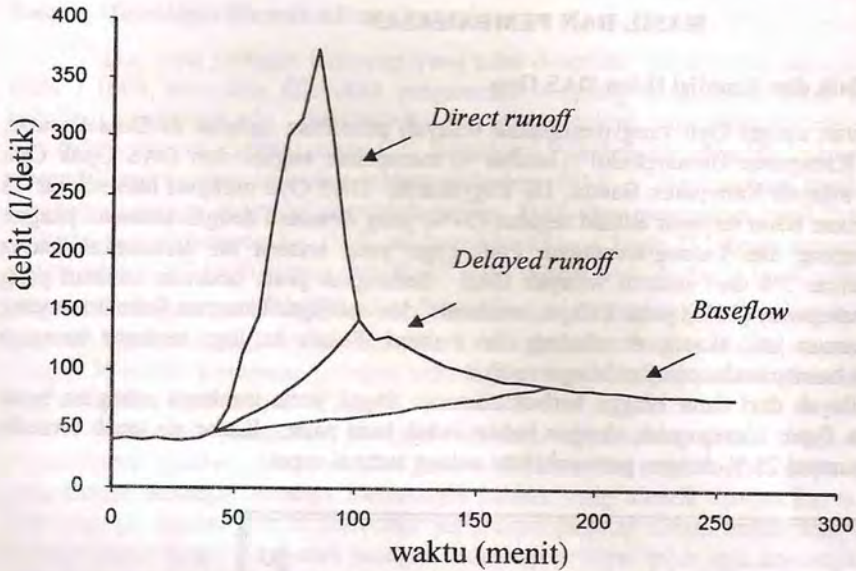
L : panjang maksimum lintasan air di DAS

e : bilangan dasar logaritma

Metode Pemisahan Aliran Permukaan

Teknik pemisahan hidrograf dilakukan untuk memisahkan aliran permukaan langsung (*direct runoff*), aliran permukaan yang tertunda (*delayed runoff*), dan aliran dasar (*base flow*) (Gambar 3). Analisis dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Memplot kurva debit semua kejadian banjir selama satu episode banjir.
2. Menentukan titik mulai terjadinya aliran permukaan langsung dan aliran dasar.
3. Menarik garis dari titik awal mulai terjadinya aliran permukaan langsung sampai titik berakhirnya.
4. Menentukan titik mulai terjadinya aliran dasar, dengan demikian dapat diperoleh titik awal dan akhir aliran permukaan yang tertunda.
5. Menghitung selisih debit sesaat antara debit total dengan debit dasar (aliran tertunda dan aliran dasar).



Gambar 3. Pemisahan aliran permukaan berdasarkan teori Llamas, 1993

Metode Simulasi Debit

Dalam menghitung debit dipergunakan persamaan seperti berikut :

$$Q_t = A * (P_n * pdf)$$

Q_t : debit simulasi (m^3/s)

A : luas DAS (m^2)

P_n : hujan netto

pdf : kerapatan jaringan hidrologi orde-1

Pembandingan Debit Simulasi dengan Debit Pengukuran

Debit hasil simulasi ($Q_{simulasi}$) akan dibandingkan dengan debit hasil pengukuran. Kriteria akurasi perhitungan debit akan dilakukan dengan persamaan Nash dan Sutcliffe (1970):

$$F = 1 - \frac{\sum_1^N (Q_s - Q_p)^2}{\sum_1^N (Q_s - \bar{Q}_p)^2}$$

\bar{Q}_p adalah debit rata-rata pengukuran, Q_s adalah debit simulasi dan Q_p adalah debit pengukuran. Besarnya nilai F berkisar antara $-\infty$ hingga 1. Jika nilai $F=1$ maka hasil simulasinya sempurna (Irianto *et al.* 1999).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Biofisik dan Kondisi Iklim DAS Oyo

Daerah aliran sungai Oyo yang merupakan wilayah penelitian terletak di Desa Bunder, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunungkidul (Gambar 4) merupakan bagian dari DAS Opak Oyo yang bermuara di wilayah Kabupaten Bantul, DI Yogyakarta. DAS Oyo meliputi luas sekitar 28 ha dengan penggunaan lahan terbesar adalah tegalan (54%) yang ditanami dengan tanaman pangan seperti ubikayu, jagung dan kacang-kacangan. Padi gogo yang selama ini diusahakan hanya menempati areal seluas 5% dari seluruh wilayah DAS. Sedangkan jenis tanaman tahunan yang terdapat di kebun campuran (36%) yaitu kelapa, rambutan, dan melinjo. Tanaman kehutanan yang dijumpai yaitu tanaman jati, akasia, sonokeling dan mahoni. Selain itu juga terdapat tanaman albisia, nangka, dan bambu walaupun jumlahnya sedikit

Bentuk wilayah dari datar hingga berbukit/dataran tinggi, jenis tanahnya sebagian besar tergolong ke dalam *Typic Ustrophepts*, dengan bahan induk batu pasir. Kadar air tanah tersedia berkisar antara 17 sampai 25 % dengan permeabilitas sedang sampai cepat.



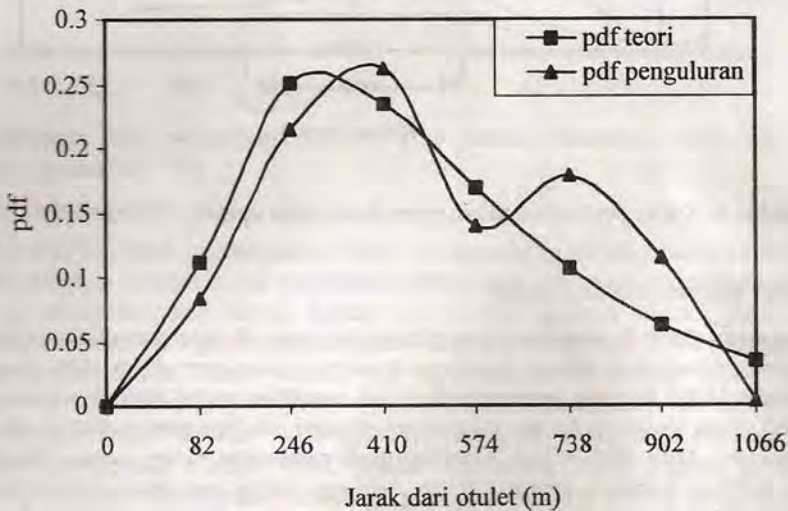
Gambar 4. Peta lokasi DAS Oyo, Gunungkidul, DIY

Berdasarkan pengamatan stasiun hujan Kecamatan Patuk periode 1980 sampai dengan 2000, wilayah DAS Oyo, Gunungkidul digolongkan kedalam tipe iklim D3 (klasifikasi Oldeman) dengan 4 bulan basah dan 5 bulan kering berturut-turut, dan curah hujan tahunan sebesar 1948 mm/tahun. Dari stasiun pencatat iklim otomatis BPP Gading pada ketinggian 218 m dpl, tercatat suhu udara rata-rata berkisar antara 25,7 °C sampai dengan 27,2 °C, suhu minimum berkisar antara 19,9 °C sampai dengan 23,0 °C, dan suhu maksimum berkisar antara 29,8 °C sampai dengan 32,1 °C. Kelembaban udara rata-rata antara 74,5 % sampai dengan 88,8 %, kelembaban udara minimum bervariasi antara 48,2 % sampai dengan 69,7 %, dan kelembaban udara maksimum antara 91,0 % sampai dengan 98,3 %. Kecepatan angin bervariasi antara 0,60 m/detik. sampai dengan 1,60 m/det, sedangkan radiasi matahari berkisar antara 13,92 MJ/m²/hari sampai dengan 19,83 MJ/m²/hari. Evapotranspirasi potensial berkisar antara 3,3 mm/hari pada bulan Nopember sampai dengan 5,20 mm/hari pada bulan September.

Respon Hidrologis Daerah Aliran Sungai

Dari peta jaringan hidrologi yang telah diperoleh berdasarkan rekonstruksi peta topografi skala 1:1000, kemudian dilakukan pengamatan langsung di lapangan untuk melengkapi jaringan hidrologi yang telah ada. Rekonstruksi jaringan hidrologi dipergunakan untuk memantau lintasan air dalam daerah aliran sungai. Selanjutnya informasi tersebut dapat digunakan untuk memodifikasi karakteristik dan respon hidrologi DAS. Berdasarkan hasil analisis penentuan kerapatan jaringan hidrologi diperoleh bahwa DAS Oyo merupakan suatu DAS yang mempunyai jaringan sungai berorde 5. DAS ini memiliki kurang lebih 251 buah sungai orde-1, 123 buah sungai orde-2, 68 buah sungai orde-3, 27 buah sungai orde-4, dan 1 buah sungai orde-5. Panjang sungai rata-rata (\bar{L}) adalah 492,20 m dengan sungai terpanjang (L) berukuran 1040 m. Kecepatan rata-rata aliran air di DAS ini berkisar 0,46 m³/detik, dengan waktu respon sekitar 12 sampai dengan 36 menit. Kerapatan jaringan hidrologi tertinggi (0,263) terletak pada sungai yang memiliki panjang antara 328 sampai 492 m.

Informasi kerapatan jaringan hidrologi diperlukan dalam rekonstruksi debit untuk pemanfaatan sumber daya air dari suatu DAS. Kurva/hidrograf debit hasil simulasi dan pengukuran biasanya mempunyai bentuk yang identik dengan kurva kerapatan jaringan hidrologinya, karena teknik konvolusi yang dipergunakan dalam melakukan simulasi debit telah menggunakan fungsi kerapatan jaringan hidrologi sebagai salah satu unsurnya. Representasi fisik respon hidrologi menurut hasil pengamatan dan perhitungan teoritik disajikan pada Gambar 5.

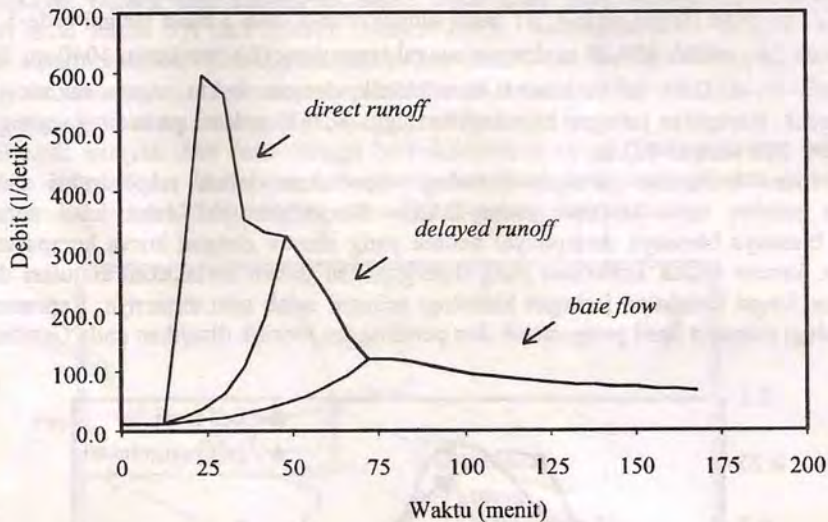


Gambar 5. Fungsi kerapatan jaringan hidrologi DAS Oyo, Gunungkidul, DIY

Pemisahan Aliran Permukaan

Pada penelitian ini analisis pemisahan aliran permukaan dibagi menjadi *direct runoff* (aliran permukaan langsung) dan *delayed runoff* (aliran permukaan yang tertunda) serta aliran dasar (*baseflow*). Contoh kurva pemisahan aliran permukaan pada episode 28 Februari 2000 disajikan pada Gambar 6. Aliran permukaan ini merupakan bagian dari curah hujan yang tidak terinfiltrasi ke

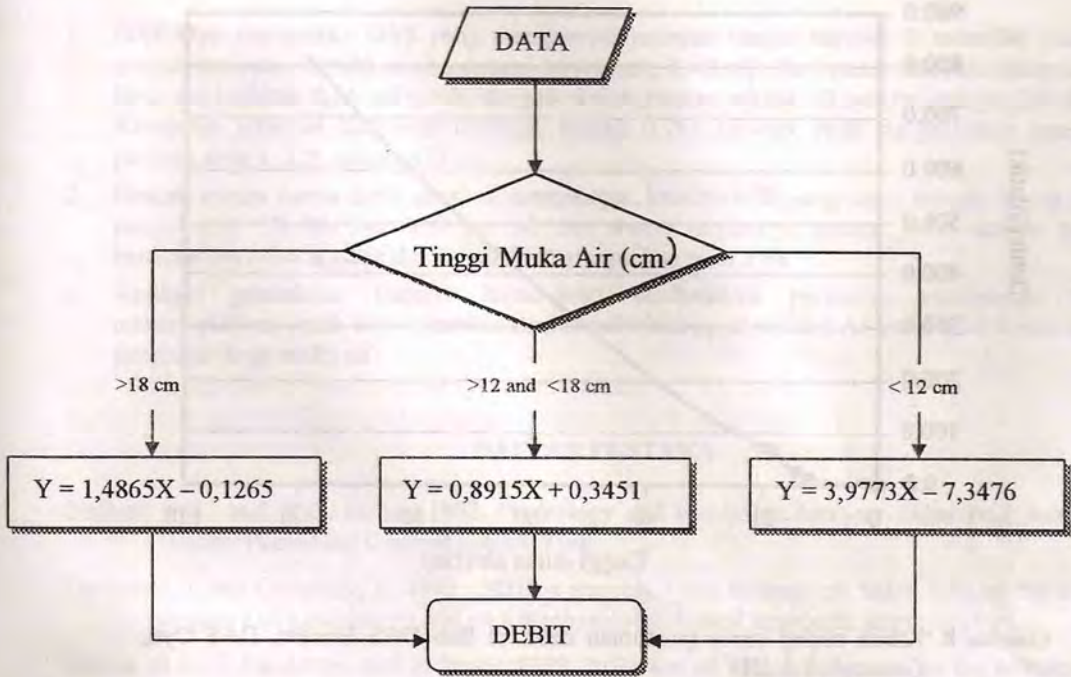
dalam lapisan tanah maupun terintersepsi oleh tajuk tanaman, akan tetapi akan mengalir di atas permukaan tanah dan pada akhirnya akan mencapai aliran sungai. Dari bentuk kurva (hidrograf) pada Gambar 6 dapat diketahui proporsi curah hujan yang menjadi masing-masing jenis aliran. Berdasarkan analisis pemisahan aliran permukaan, episode 22 Februari 2000 menunjukkan aliran permukaan langsung sebesar 33%, sedangkan yang menjadi aliran permukaan tertunda dan aliran dasarnya adalah 19% dan 48%.



Gambar 6. Kurva pemisahan aliran permukaan pada episode 22 Februari 2000

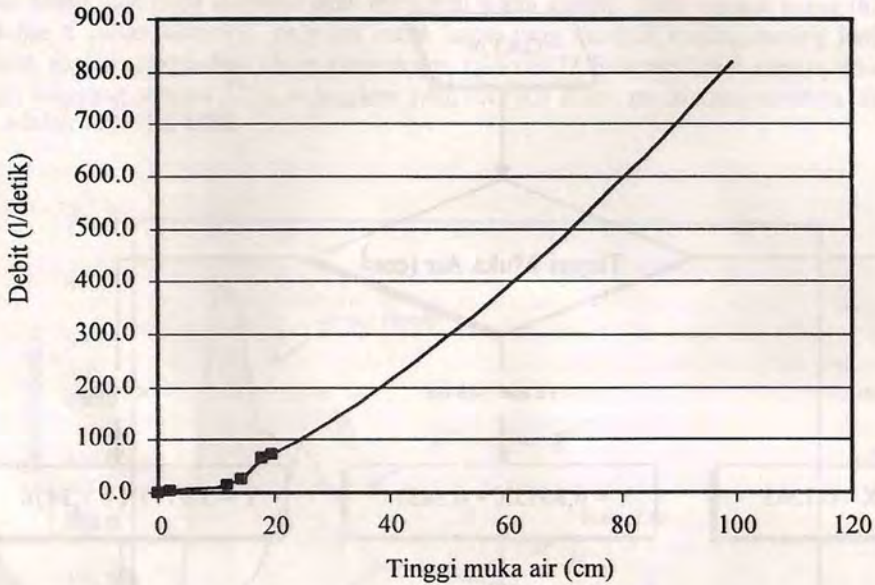
Fungsi Transfer Daerah Aliran Sungai

Perhitungan debit berdasarkan pengukuran langsung di lapangan dilakukan berdasarkan *rating curve*, yang dilanjutkan dengan penetapan besarnya aliran permukaan. Alat pengukur tinggi muka air otomatis (AWLR) yang terpasang di lokasi penelitian mulai aktif digunakan pada bulan Desember 1999. Data tinggi muka air yang dapat diamati di lapangan pada periode Nopember 2000 sampai dengan April 2001 belum memadai untuk pembuatan *rating curve*. Tinggi muka air yang teramati berkisar antara 4 sampai 20 cm, sehingga untuk menghitung debit dengan tinggi muka air lebih dari 20 cm dilakukan pendugaan dengan menggunakan persamaan *rating curve* seperti tercantum pada Gambar 7 dan 8.

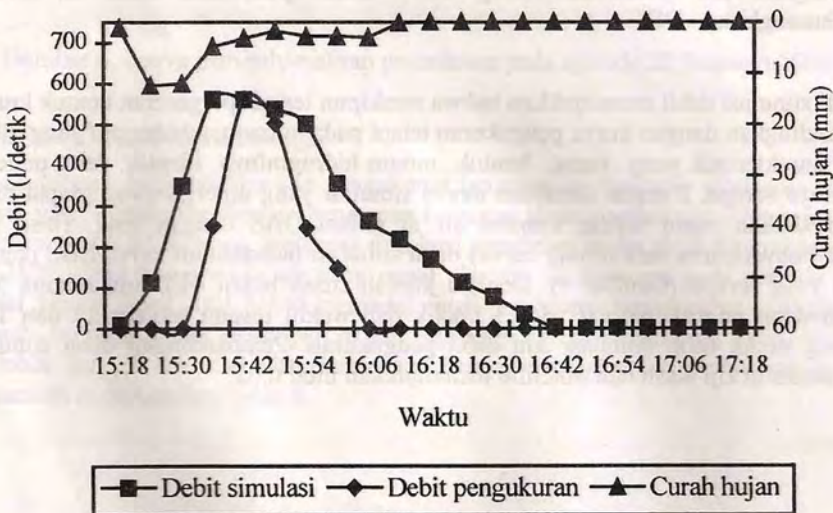


Gambar 7. Diagram alir penentuan *rating curve* untuk penentuan debit di, DAS Oyo, Gunungkidul, DIY

Hasil simulasi debit menunjukkan bahwa meskipun terjadi pergeseran bentuk kurva debit simulasi dibandingkan dengan kurva pengukuran tetapi pada umumnya hidrograf yang dihasilkan mempunyai karakteristik yang sama, bentuk umum hidrografnya identik, debit puncak serta waktu responnya serupa. Dengan demikian model simulasi yang dipergunakan dapat dikatakan mampu memodelkan suatu sistem transfer air di dalam DAS dengan baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kurva naik (*rising curve*) debit simulasi mendahului kurva hasil pengukuran dengan pola yang serupa (Gambar 9). Dengan jumlah curah hujan 44,2 mm selama 54 menit menunjukkan debit puncak sebesar 561,3 l/detik dan waktu respon sebesar 12 dan 18 menit masing-masing untuk debit simulasi dan debit pengukuran. Perbandingan debit simulasi dan pengukuran menurut Uji Nash dan Sutcliffe menunjukkan nilai 0,68.



Gambar 8. Kurva *rating curve* penentuan debit di Sub DAS Bunder, DAS Oyo, Gunungkidul, DIY



Gambar 9. Hidrograf debit pengukuran dan simulasi pada episode 22 Februari 2000 di DAS Oyo, Gunungkidul, DIY

KESIMPULAN

1. DAS Oyo merupakan DAS yang mempunyai jaringan sungai berorde 5, memiliki panjang sungai rata-rata 492,20 m dan sungai terpanjang 1040 m. Kecepatan rata-rata aliran air di DAS ini berkisar 0,46 m³/detik, dengan waktu respon sekitar 12 sampai dengan 36 menit. Kerapatan jaringan hidrologi tertinggi adalah 0,263 terletak pada sungai yang memiliki panjang antara 328 sampai 492 m.
2. Bentuk umum kurva debit simulasi mempunyai karakteristik yang sama dengan kurva debit pengukuran. Selain itu debit puncak dan waktu responnya serupa. Nilai akurasi model berdasarkan kriteria Nash dan Sutcliffe menunjukkan nilai 0.68.
3. Aplikasi pemodelan transfer hujan-debit berdasarkan parameter morfometri DAS memungkinkan untuk dapat merekonstruksi debit/hidrograf untuk DAS yang tidak tersedia alat pengukur duga muka air.

DAFTAR PUSTAKA

- Bedient, P.B., and W.C. Huber. 1992. *Hydrology and Floodplain Analysis*. Edisi ke-2 Addison-Wesley Publishing Company, New York.
- Duchesne, J. and Cudennec, C. 1997. H2U: a unuversal unit hydrograph based both on the fractal structure of a catchment and on a mechanical statistical approach. In preparation.
- Irianto, G.S., J. Duchesne, and P. Perez. 1999. Influence of irrigated terraces on the hidrological response of small basin. 1: calibration of the hydraulic model, p.189- *In* Oxley, L. and F. Scrimgeour (eds.), *International Congress on Modelling and Simulation. MODSIM 99 Proceedings*. Hamilton New Zealand. 6th-9th Dec. 1999.
- Llamas, J., 1993. *Hydrologie Generale – Principes et Application*. Gaetan Morin Editeur. Boucherville. Quebec. Canada. 527p.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, 1, a discussion of principles. *J. Hydrol.* 10 (1), 282-290.