

# PENGAJIAN DAN PENANGANAN DAERAH ALIRAN SUNGAI BAGIAN HULU DENGAN PENDEKATAN MODEL ANSWERS

## BAGIAN 1 : PREDIKSI AIR LIMPASAN

Suharyono<sup>1)</sup>, Putu Sudira<sup>2)</sup>, Sukirno<sup>2)</sup>

### Abstract

The Area Nonpoint Sources Watershed Environment Response Simulation (ANSWERS) model as the distributed hydrologic model for the simulation of 10 scenarios of land uses is presented. The model is based on the assumption that at any point of watershed spatial, runoff volume is closely related to the hydrologic and physiographic processes such as, rainfall intensity, infiltration rate, soil moisture content, soil behaviour, land slope and vegetative cover. The discharge hydrograph of the model gave a good result and was statistically significant to the observed hydrograph. Among the ten scenarios of land uses, the lowest peak discharge of 7.7. m<sup>3</sup>/second was obtained at the simulation of 80% of forest land, meanwhile the highest peak discharge of 33.36 m<sup>3</sup>/second was obtained when there was no forest land at the study area.

Kata-kata kunci : air limpasan, daerah aliran sungai, hidrograf, model distribusi, simulasi

### PENDAHULUAN

Proses hujan menjadi air limpasan merupakan proses yang kompleks yang dipengaruhi oleh vegetasi penutup, jenis tanah, serta topografi lahan, disamping aktifitas manusia yang menghuni kawasan daerah aliran sungai, serta sifat hujan yang jatuh pada saat itu.

Upaya pengkajian dan pendekatan hubungan antara air hujan dengan limpasan telah banyak dilakukan baik dengan pendekatan empirik, statistik, maupun pendekatan model yang menggunakan "lumped parameter".

Seiring dengan kemajuan dan perkembangan ilmu analisa sistem, metode numerik, dan kecepatan komputer yang semakin cepat memungkinkan pemecahan masalah yang berkaitan dengan sumberdaya daerah aliran sungai (DAS) dengan banyak parameter yang dimasukkan, dan diharapkan akan memberikan hasil yang mendekati dengan proses yang ada di lapangan.

Fenomena air limpasan merupakan masalah yang menarik untuk dikaji karena mampu mencirikan tingkat keberhasilan pengelolaan DAS yang ditinjau dari nilai debit puncak, waktu puncak dan aliran dasar pada satu kejadian hujan. Dengan mengetahui watak limpasan dan sifat hujan yang terjadi maka dapat diperkirakan jumlah produksi air bagi berbagai penggunaan seperti, kebutuhan air irigasi, air

untuk rumah tangga dan industri dan lain sebagainya.

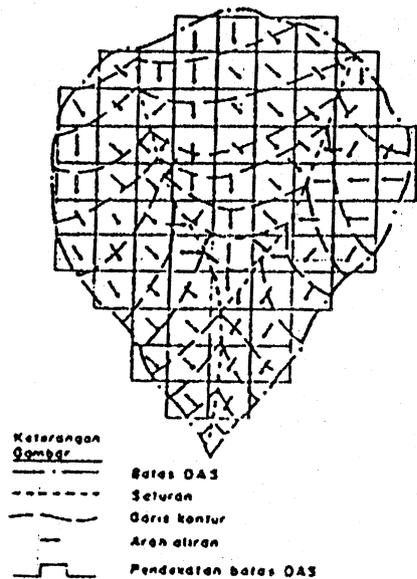
Banyak model "lumped" telah dikembangkan oleh para ahli hidrologi (Sudira, 1989; Oustad dan Jamieson, 1970; Piersen dkk., 1994; dan Allred dan Han, 1996) yang menganalisis hubungan hujan dan air limpasan di sebuah DAS. Namun berbeda dengan model ANSWERS adalah model distribusi yang dikembangkan untuk memprediksi jumlah air limpasan, erosi dan sedimentasi. Keuntungan dari penggunaan ini adalah mampu menjelaskan perilaku aliran air menurut ruang dan waktu serta mampu mengontrol keragaman parameter sebagai salah satu komponen dalam pengelolaan DAS.

### KERANGKA TEORITIS MODEL ANSWERS

Model ANSWERS (*Area Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*) adalah sebuah model yang berusaha mensimulasikan sifat-sifat dan karakteristik basin untuk tujuan perencanaan dan pengelolaan daerah aliran sungai dalam upaya mengoptimalkan sumberdaya alam. Konsep dasarnya adalah dengan hipotesis bahwa setiap titik dalam DAS mempunyai hubungan yang mendasar antara laju aliran permukaan dan beberapa parameter hidrologi yang mempengaruhi aliran, yakni intensitas hujan, infiltrasi, topografi, sifat fisik tanah dan beberapa faktor lainnya. Daerah aliran sungai dimodelkan secara konseptual yang merupakan kumpulan dari setiap elemen bujur sangkar, sehingga derajat variabilitas spasial dalam DAS dapat dikeluarkan. Konsep terdistribusi dari ANSWERS tersebut didefinisikan secara hubungan matematika untuk semua proses simulasi. Model ini mengasumsikan bahwa DAS merupakan gabungan dari banyak elemen (Gambar 1).

Untuk mengetahui besarnya aliran digunakan persamaan kinematik dan perhitungan Manning's pada saluran. Elemen diartikan sebagai suatu aliran yang mempunyai parameter hidrologi dan erosi yang sama. Setiap elemen akan memberikan kontribusi sesuai dengan karakteristik yang dimiliki, selain itu model ini mengikutsertakan semua parameter kontrol secara spasial. Jadi berdasarkan konsepsi di atas, maka model ini melakukan analisis pada setiap satuan elemen.

1) Alumni Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta  
2) Fakultas Teknologi Pertanian, UGM, Yogyakarta



Gambar 1: Daerah aliran sungai dibagi dalam bentuk elemen dan arah aliran air sesuai dengan kemiringan lahan (Beasley dan Larry, 1981)

## METODOLOGI PENELITIAN

### Data masukan Model

Untuk keperluan komputasi, model ANSWERS memerlukan masukan data yang dikelompokkan menjadi 5 (lima) kelompok yakni :

1. Data curah hujan (lama hujan dan intensitas)
2. Data tanah (kelembaban tanah awal, infiltrasi, drainase, erodibilitas tanah), meliputi data porositas total (TP), laju infiltrasi dalam keadaan konstan (FC), selisih laju infiltrasi maksimum dengan laju infiltrasi konstan (A), persentase kejenuhan tanah (ASM), koefisiensi hubungan antara laju penurunan kapasitas infiltrasi dengan pertambahan kelembaban (P), kedalaman zone pengamatan infiltrasi pada horizon A (DF), tanah dan erodibilitas tanah (K) dari USLE.
3. Data penggunaan tanah dan kondisi permukaan, yaitu jenis penggunaan tanah dan pengelolannya (P), volume intersepsi potensial (PIT), persentase penutupan permukaan tanah untuk setiap jenis tanaman (PER), koefisien kekasaran (RC), tinggi kekasaran maksimum (*micro relief*) (HU), koefisien Manning (N), dan faktor tanaman dan pengelolaan (CP) dari USLE.
4. Data saluran atau sungai meliputi lebar saluran (CW) dan kekasaran permukaan (Koefisien Manning).
5. Data satuan individu elemen, meliputi data kemiringan lereng, arah lereng, jenis tanah, jenis penggunaan tanah, pengelolaan tanah (tindakan konservasi), liputan penakar hujan, tipe saluran, kemiringan saluran dan elevasi rata-rata elemen.

### Data Keluran Model

Keluaran model ANSWERS dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok yakni,

1. Pendugaan aliran limpasan (total limpasan)
2. Pendugaan erosi dan sedimentasi, yang meliputi erosi rata-rata, erosi maksimum, pengendapan maksimum dan penurunan erosi karena perlakuan konservasi.

### Metodologi perhitungan

- a. Debit air berupa aliran permukaan (limpasan) pada setiap elemen dihitung dengan persamaan :

$$dS/dT = I - Q \quad (1)$$

Dimana :

I = laju masukan suatu elemen suatu kejadian hujan dan aliran elemen di dekatnya.

Q = laju keluaran

S = volume air yang tertahan pada elemen

T = waktu

Aliran permukaan dari satu elemen ke elemen di sebelahnya berdasarkan arah kemiringan elemen. Arah lereng digambarkan sebagai sudut, dalam satuan derajat.

- b. Bagian volume aliran permukaan yang bergerak dari permukaan elemen ke elemen di dekatnya (RFL) ditentukan dengan persamaan Beasley dan Larry (1981);

$$RFL = 0,5 \tan (ANG) \quad \text{jika } ANG \leq 45^\circ \quad (2)$$

$$RFL = 1 - \{0,5 \tan (90 - ANG)\} \quad \text{jika } 45^\circ < ANG < 90^\circ \quad (3)$$

Dimana :

RFL = Volume air yang bergerak dari permukaan elemen ke elemen di sebelahnya

ANG = Arah kelerengan

- c. Volume air yang tertahan (DEP) pada daerah depresi, ditentukan dengan persamaan Huggins dan Mongke (dalam Beasley dan Larry, 1981) ;

$$DEP = HU * ROUGH * (H/HU)^{1/ROUGH} \quad (4)$$

Dimana :

DEP = volume air yang tersimpan di setiap unit kedalaman

HU = ketinggian maksimum dari mikrorelief

H = ketinggian tempat pada setiap elemen

ROUGH = parameter kekasaran permukaan = RC

- d. Kapasitas infiltrasi pada permukaan tergenang (FMAX) yang di hitung dengan persamaan Holtan (1961) dan Overton (1986) dalam Beasley dan Larry, (1981).

$$FMAX = FC + A * (PIV/TP)^P \quad (5)$$

Dimana :

FMAX= kapasitas infiltrasi permukaan tergenang

FC = kapasitas infiltrasi konstan

A = selisih laju infiltrasi maksimum dan laju infiltrasi konstan

PIV = volume air maksimum yang tertahan untuk mencapai titik jenuh pada zone pengamatan

TP = Porositas total

P = koefisien hubungan antara laju penurunan kapasitas infiltrasi dengan pertambahan kelembaban

e. Laju drainase (DR) yang merupakan fungsi kelembaban tanah pada zone pengamatan. Nilai laju drainase ini ditentukan dengan menggunakan asumsi ;

1. Bila lengas tanah lebih kecil dari kapasitas lapang, maka tidak akan terjadi perkolasi

2. Bila lengas tanah melebihi kapasitas lapang maka pergerakan air pada zone tersebut dihitung dengan persamaan ;

$$DR = FC * \{1 - (PIV/GWC)\}^3 \quad (6)$$

Dimana :

DR = Laju pergerakan air di zone pengamatan

GWC = TP - FP (kapasitas air grafitasi)

f. Persentase kejenuhan tanah (ASM)

Air tersimpan dalam tanah dalam model ANSWERS dinyatakan dalam persentase kejenuhan tanah (ASM) yaitu;

$$ASM = ASML + RAIN - ET - Ro - PERC \quad (7)$$

Dimana :

ASM = persentase kejenuhan tanah

ASML = kelembaban tanah awal

RAIN = curah hujan harian

ET = evapotranspirasi

Ro = limpasan (runoff)

PERC = perkolasi

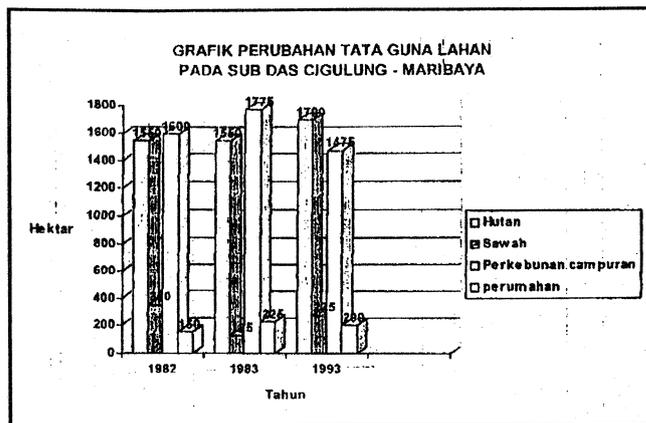
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Keadaan umum Wilayah

Sub DAS Cigulung Maribaya merupakan bagian dari sub DAS Cikapundung, DAS Citarum. Secara administratif masuk ke dalam wilayah Kabupaten Dati II Bandung propinsi Jawa Barat. Luas Sub DAS Cigulung sebesar 3650 ha (36,5 km<sup>2</sup>) berada pada ketinggian 1200 m (Stasiun Maribaya) sampai dengan 1900 meter di atas permukaan laut (Gunung Tangkuban Perahu).

Sub DAS Cigulung memiliki iklim tropis basah dengan dua musim yakni musim hujan dan musim kemarau. Curah hujan rata-rata tahunan adalah antara 1500 - 3700 mm. Suhu udara rata-rata harian sebesar 22,7°C. Kelembaban nisbi udara di wilayah ini antara 73 - 83 % sedangkan rata-rata lama penyinaran matahari adalah antara 5 - 8,5 jam/hari. Kecepatan angin yang bertiup di wilayah ini berkisar

antara 45 - 75 km/jam. Daerah Sub DAS Cigulung memiliki topografi beragam, ketinggian berkisar antara 1200 sampai 1900 m di atas permukaan laut, sedangkan kemiringan antara 7 - 55 %. Jenis tanah yang berkembang di DAS Cigulung adalah tanah andosol. Penggunaan lahan di DAS Cigulung terdiri dari 4 jenis tata guna tanah seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah ini

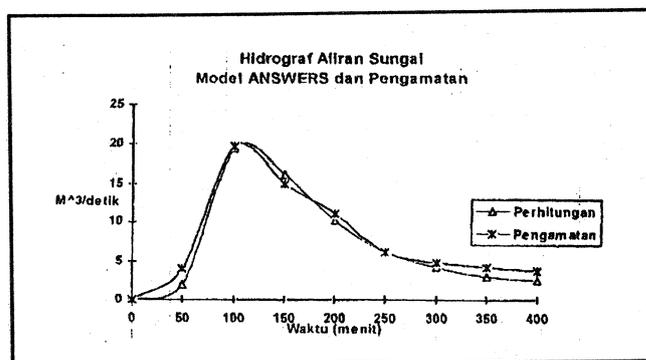


Sumber : Anonim, 1997, Puslitbang Air DPU Bandung

Gambar 2 : Grafik Perubahan Tata Guna Lahan di Sub DAS Cigulung

### Validasi Model

Validasi model merupakan metode pengujian suatu model guna menilai tingkat keandalan suatu model, hal ini dilakukan dengan membandingkan keluaran model dengan hasil pengamatan di lapangan. Pada pengujian ini dilakukan dengan metode analisa uji Chi Square dan analisa Grafik. Di bawah ini adalah contoh hidrograf pengukuran dengan hidrograf model.



Sumber : analisa data 1997.

Gambar 3 : Hasil Validasi Hidrograf Aliran Dengan Hidrograf Model Pada Tanggal 24 Februari 1996 di Sub DAS Cigulung

Pengujian dengan analisa Chi Square dengan tingkat kesalahan relatif 5 % dan derajat bebas sesuai dengan ketersediaan data dapat dilihat pada Tabel 1. di bawah ini.

Tabel 1. Hasil analisa perhitungan uji Chi Square untuk beberapa kejadian hujan di Sub DAS Cigulung.

No	Tanggal	Derajat bebas (k)	$X^2 (1 - \alpha), (k-1)$	$X^2$ Hitung	Hipotesis
1	10-02-96	12	21.00	5.452	diterima
2	19-02-96	7	14.10	4.316	diterima
3	21-02-96	10	18.30	0.661	diterima
4	24-02-96	8	15.50	4.260	diterima
5	13-03-96	6	12.60	3.217	diterima

Sumber : analisa data, 1997

Dari Tabel 1. di atas hasil uji Chi Square menunjukkan nilai rata-rata kesimpulan uji hipotesis  $H_0$  diterima. Hal ini dapat dilihat dari nilai  $X^2 (1 - \alpha), (k - 1)$  mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan  $X^2$  hasil perhitungan. Dari sini diketahui bahwa model hidrologi terdistribusi ANSWERS adalah layak digunakan dalam melakukan simulasi.

### Produksi Air pada Sub DAS

Pada perhitungan dengan model ANSWERS debit puncak yang terjadi pada saat kejadian hujan 21,95 mm adalah 20,28 m<sup>3</sup>/det dengan waktu puncak 85 menit. Selanjutnya dilakukan usaha simulasi dengan merubah luasan hutan dengan mengganti menjadi kebun campuran yang secara diskriptif ditunjukkan oleh Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Resume dari hidrograf simulasi dan perubahan debit puncak terhadap debit awal pada skenario perubahan luas hutan DAS Cigulung.

Skenario	Uraian	Hidrograf Puncak		Perubahan Persen terhadap awal
		Mm/jam	M <sup>3</sup> /det	
1	Simulasi tata guna lahan pada saat ini (luas hutan 46,6%)	2.00	20.28	0
2	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 40 %.	2.17	22.00	+ 8.5
3	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 30 %.	2.42	24.45	+ 21.00
4	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 20 %.	2.50	25.35	+25.00
5	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 10 %.	2.87	29.10	+ 43.5
6	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 0 %.	3.29	33.36	+ 64.50
7	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 50 %.	1.83	18.55	- 8.5
8	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 60 %.	1.71	17.38	- 14.5
9	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 70 %.	0.94	9.53	-53.0
10	Simulasi tata guna lahan dengan luas hutan 80 %.	0.76	7.70	- 62.0

Sumber : Analisis Data simulasi

Dari simulasi di atas maka diketahui nilai debit puncak pada berbagai skenario luas hutan pada kejadian hujan tertentu. Berdasarkan nilai di atas maka dapat dilakukan evaluasi potensi produksi air suatu daerah aliran sungai bagi penggunaan tertentu.

### KESIMPULAN

1. Model ANSWERS merupakan model distribusi yang dapat digunakan untuk menganalisis perubahan di daerah aliran sungai (DAS), serta dapat digunakan untuk mengontrol keragaman parameter yang ada berdasarkan fungsi ruang dan waktu.
2. Validasi model berdasarkan keluaran debit puncak, debit aliran dasar dan debit aliran sungai menunjukkan tingkat kelayakan yang baik sehingga dapat digunakan untuk analisis dan simulasi DAS untuk tujuan evaluasi maupun perencanaan.
3. Pada kondisi saat ini (luas hutan 46.6 %) pada kejadian hujan 21,95 mm debit puncak hidrograf sebesar 2 mm (setara dengan 20.28 M<sup>3</sup>/det) dan waktu puncaknya adalah 85 menit.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ir. M. Arif Ilyas MSc. Staf Puslitbang Pengairan DPU, Bandung yang telah banyak membantu pengumpulan data dan analisis di lapangan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1997. Puslitbang Air DPU, Bandung.
- Allred, B dan C.T. Haan, 1996. SWMHS - *Small watershed monthly hydrologic modeling system*. Water Res.Bul. vo. 32 (32) : 541-552.
- Beasley D.B, F.H. Larry and E.J. Monke, 1980. ANSWERS : *A model for watershed planning*. Trans ASAE (23) : 938 - 944.
- Beasley D.B. dan F.H. Larry. 1981. ANSWERS (*Area Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*), Agricultural Engineering Department, Purdue University, Indiana, USA.
- Oustad, C.A dan D.G. Jamicson, 1970. *Modeling the effect of land used modification on runoff*. Water. Res. Res. Vol. 6 (5) 1287 - 1295.
- Pierson, F.B., W.H. Blackburn; S.S. van Vector dan J.C. Wood, 1994. *Partitioning small scale spatial variability of runoff on erosion in Sagebrush Rangeland*. Water Res.Bul. Vol. 30 (6) : 1081 - 1089.
- Soemarto. CD, 1987. *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Sudira, Putu 1995. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, FTP UGM, Yogyakarta.
- Sudira, Putu 1989. *Runoff prediction model based on soil moisture analysis*. Disertasi S3, UPLB Filipina.