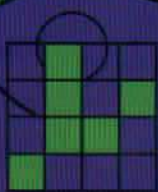


Kustamar

Konsep, Strategi, dan Contoh Pemodelan Hidrologi Daerah Aliran Sungai



PENGGUNAAN LAHAN

SUNGAI UTAMA



PENERBIT & PERCETAKAN

**Konsep, Strategi, dan Contoh
Pemodelan Hidrologi
Daerah Aliran Sungai**

Konsep, Strategi, dan Contoh Pemodelan Hidrologi Daerah Aliran Sungai

Kustamar



PENERBIT UNIVERSITAS NEGERI MALANG
d/h PENERBIT IKIP MALANG

Jl. Surabaya 6, (Jl. Gombong 1) Malang, Kode Pos 65145 Kotak Pos 13,
Telepon (0341) 553959, 551312 (4 saluran) psw 453, Faks. (0341) 566025

Kustamar

Konsep, Strategi, dan Contoh Pemodelan Hidrologi Daerah Aliran Sungai –Oleh: Kustamar–Cet. I.–Malang: Penerbit Universitas Negeri Malang, 2008.

viii, 114 hlm; 23 cm

ISBN: 979-495-881-6

-
- **KONSEP, STRATEGI, DAN CONTOH PEMODELAN HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI**

Kustamar

-
- Diterbitkan oleh:

PENERBIT UNIVERSITAS NEGERI MALANG (UM PRESS)

d/h Penerbit IKIP MALANG

Jln. Surabaya 6, (Jln. Gombang 1) Malang, Kode Pos 65145 Kotak Pos 13, MLG/IKIP

Telepon (0341) 553959, 551312 (4 saluran) psw. 453; Faks. (0341) 566025

E-mail: penerbit@malang.ac.id

-
- Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak dalam bentuk apa pun tanpa izin tertulis dari Penerbit.
 - Cetakan I: 2008
-

PENGANTAR

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah tangkapan hujan yang secara hidrologis terpisah dari daerah sekitarnya, dan mengalihragamkan hujan menjadi aliran sungai sesuai dengan kondisi lingkungannya. Jenis dan kondisi penggunaan lahan merupakan faktor kondisi DAS yang paling dominan pengaruhnya. Dinamika perubahan kondisi penggunaan lahan terjadi sangat cepat. Kesulitan memperoleh informasi kondisi penggunaan lahan dalam skala makro yang *up-to-date* dapat diatasi dengan memanfaatkan citra satelit.

Proses alih ragam hujan menjadi aliran air di sungai mengalami beberapa fase perubahan dan dipengaruhi berbagai faktor. Oleh karena rumitnya proses tersebut maka diperlukan adanya model. Dalam tinjauan penanganan variabilitas spasial data, model hidrologi DAS dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu: terdistribusi (*distributed*), agak terdistribusi (*quasi-distributed*) dan kempal (*lumped*).

Dalam buku ini tidak hanya diuraikan bagaimana cara memilih model, akan tetapi juga bagaimana strategi membuat dan contoh penggunaannya. Seiring dengan kemajuan teknologi informasi dan ketersediaan data spasial, maka sebagian besar materi dikhususkan membahas tentang model berjenis terdistribusi. Dalam kondisi masih relatif sedikitnya referensi tentang model hidrologi DAS, penulis berharap kehadiran buku ini dapat menjadi sedikit pengurai kesulitan.

Malang, Agustus 2008
Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
BAB I HIDROLOGI DAS	1
1 ALIH RAGAM HUJAN MENJADI ALIRAN SUNGAI	1
2 PERAN VEGETASI DALAM HIDROLOGI	2
2.1 Intersepsi	2
2.2 Infiltrasi	4
2.3 Evapotranspirasi	7
3 JENIS DAN KONDISI PENGGUNAAN LAHAN	9
3.1 Koefisien Pengaliran	9
3.2 Koefisien Kekasaran Permukaan Lahan	13
BAB II MODEL HIDROLOGI DAS	14
1 PERKEMBANGAN MODEL HIDROLOGI DAS	14
2 PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI DAS	20
BAB III STRATEGI PENGEMBANGAN MODEL HIDROLOGI DAS	23
1 UMUM	23
2 MODEL GERAKAN AIR ARAH VERTIKAL	24
2.1 Intersepsi	25
2.2 Evapotranspirasi	27
2.3 Dinamika Air Di Lapisan Tanah Tidak Jenuh	28
3 MODEL LIMPASAN PERMUKAAN	29
4 MODEL ALIRAN AIR TANAH	32
5 ARAH DAN SLOPE	34
6 PENGUJIAN MODEL	34
BAB IV HASIL PENGEMBANGAN MODEL “MODEL SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI” ..	37
1 DISKRIPSI MODEL	37

2	TAMPILAN MODEL	37
2.1	Program Utama	39
2.2	Fasilitas Memperbaiki Data	39
2.2.1	Data Umum	40
2.2.2	Data Hujan	42
2.2.2.1	Tampilan Data Hujan	43
2.2.2.2	Daerah Pengaruh Stasiun	43
2.2.3	Data Fisik DAS	45
2.2.3.1	Topografi	45
2.2.3.2	Penggunaan Lahan	46
2.2.3.3	Sebaran Data	47
2.2.3.4	Klasifikasi	48
2.2.3.5	Fisik Tanah	49
2.2.3.6	Sebaran Data	49
2.2.3.7	Klasifikasi	50
2.2.3.8	Muka Air Tanah	51
2.2.4	Simulasi	53
2.2.4.1	Bobot Parameter	53
2.2.4.2	Rencana Perbaikan	54
2.3	Fasilitas Melihat Hasil	55
2.3.1	Kondisi Lahan	56
2.3.2	Perbaikan Penggunaan Lahan	56
2.3.2.1	Lahan Sangat Kritis	58
2.3.2.2	Lahan Kritis	58
2.3.2.3	Lahan Agak Kritis	59
2.3.2.4	Rencana Penggunaan Lahan	60
2.3.3	Debit Jam-jaman	60
2.3.4	Debit Rerata Harian	61

BAB V PENGGUNAAN MODEL SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI LESTI BAGIAN I

(Penyiapan Data Masukan)	62
1 KAPASITAS INFILTRASI, BATAS KAPASITAS LAPANGAN, DAN TEKSTUR TANAH	62
2 PERMUKAAN AIR TANAH	63
3 JENIS DAN KONDISI PENGGUNAAN LAHAN	70

4 UKURAN GRID	91
5 HUJAN	92

BAB VI PENGGUNAAN MODEL SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI LESTI BAGIAN II

(Disampaikan pada Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air Kebijakan dalam Pengelolaan Wilayah Sungai, Bandung 29 Juli 2008)	94
1. PENDAHULUAN	95
1.1 Latar Belakang	95
1.2 Permasalahan	97
1.3 Maksud dan Tujuan	97
2. KAJIAN PUSTAKA	97
2.1 Simulasi Penggunaan Lahan	97
2.2 Model Hidrologi DAS	98
3. METODE YANG DIGUNAKAN	101
3.1 Kalibrasi Model	101
3.2 Skenario Simulasi	101
3.3 Strategi Pengembangan Konsep Membangun Partisipasi Masyarakat	102
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	103
4.1 Hasil Kalibrasi	103
4.2 Rencana Penggunaan Lahan	105
4.3 Partisipasi Masyarakat	108
5. KESIMPULAN DAN SARAN	109
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Saran	109
PUSTAKA	113

BAB I

HIDROLOGI DAS

1. ALIH RAGAM HUJAN MENJADI ALIRAN SUNGAI

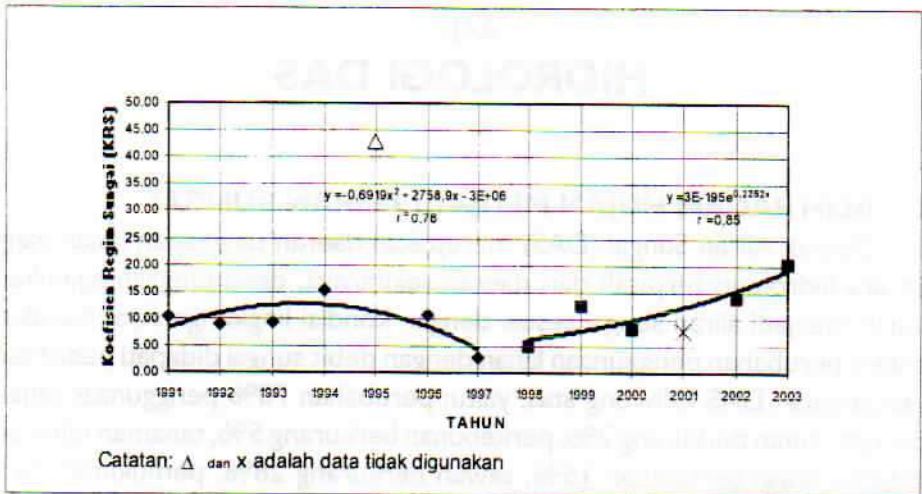
Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah tangkapan hujan yang secara hidrologis terpisah dari daerah sekitarnya, dan mengalihragamkan hujan menjadi aliran sungai sesuai dengan kondisi lingkungannya. Korelasi antara perubahan penggunaan lahan dengan debit sungai didapati pada hasil pengamatan DAS Ciliwung atas, yaitu: perubahan 70% penggunaan lahan berupa: hutan berkurang 2%, perkebunan berkurang 5%, tanaman tahunan dataran tinggi bertambah 15%, sawah berkurang 28%, pemukiman bertambah 20%, yang diikuti kenaikan debit puncak banjir sebesar 66% (Agus *et al.*, 2003). Van Dijk (2002) mensimulasi penataan Sub DAS Konto Atas, dengan merubah 8% penggunaan lahan dari kebun campuran menjadi hutan diperoleh kenaikan debit musim kemarau sebesar 5% dan penurunan debit puncak banjir sebesar 22%.

Hasil analisa perubahan jenis dan kondisi penggunaan lahan pada Sub DAS Lesti antara tahun 1997 hingga 2002 adalah sebagai berikut: hutan alami berkurang 2,43%, hutan rapat berkurang 1,95%, hutan parsial bertambah 1,14%, dan hutan jarang berkurang 0,18%. Sedangkan kebun berkurang 0,18%, tegalan bertambah 10,94%, pemukiman bertambah 0,46%, padang rumput bertambah 0,02%, dan belukar alam berkurang 0,48%.

Secara hidrologis, dapat dipahami bahwa dampak dari perubahan jenis dan kondisi penggunaan lahan tersebut mengakibatkan meningkatnya aliran limpasan permukaan, dan menurunnya aliran air tanah. Hasil analisa fluktuasi debit Kali Lesti yang dinyatakan dalam nilai koefisien regim sungai (KRS) mulai tahun 1998 cenderung naik (Gambar 1). Dengan demikian terlihat adanya hubungan antara perubahan penggunaan lahan dan kenaikan nilai KRS di Sub DAS Lesti.

2. PERAN VEGETASI DALAM HIDROLOGI

Dalam proses alih ragam hujan menjadi aliran sungai, pada setiap fase perubahannya dipengaruhi berbagai faktor yang saling terkait. Beberapa fak-



Sumber: Diolah dari data debit rerata harian Sta. Tawangrejeni (PERUM JASA TIRTA I, 2003).

Gambar 1 Koefisien Regim Sungai (KRS) Kali Lesti

tor 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 (Sosrodarsono, 1987; Harto, 1993; Asdak, 1995). Faktor-faktor tersebut berpengaruh antara lain dalam bentuk: intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, kecepatan aliran limpasan permukaan, dan kecepatan aliran air tanah.

2.1 Intersepsi

Intersepsi merupakan bagian dari komponen hidrologi yang dalam analisa neraca air memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap jumlah air hujan yang akan menjadi air limpasan permukaan dan bawah permukaan. Seiring dengan pertumbuhan tanaman, pengaruh kondisi vegetasi terhadap intersepsi (I_t) adalah sebagai berikut (Asdak, 1995):

1. Semakin berkurangnya jumlah air lolos (A_l), sejalan dengan semakin rapatnya tajuk.
2. Semakin bertambahnya aliran batang (A_b), walau dalam jumlah yang sedikit.
3. Semakin meningkatnya kapasitas tampungan permukaan tajuk, daerah seresah.

Penelitian dari beberapa hutan tropis Amazon, Afrika, dan Asia menunjukkan besarnya air hujan yang terintersepsi oleh vegetasi hutan sangat bervariasi, yaitu:

1. Hutan di Jawa Barat berkisar 21% (Calder *et al.*, 1986 dalam Asdak, 1995),
2. Hutan di Sabah, Malaysia sama dengan 17% (Sinun *et al.*, 1992),
3. Hutan di India berkisar 31% (Rao, 1987 dalam Asdak, 1995), dan
4. Hutan Tropis di Kalimantan adalah 11% (Asdak, 1998).

Pada daerah persawahan, besarnya intersepsi sangat dipengaruhi oleh jenis dan kerapatan tanaman, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Persentase Hujan Yang Sampai ke Tanah Akibat Intersepsi Tanaman di Sawah

Jenis Tanaman	Peneliti						
	Wolny (jumlah tanaman tiap m ²)					Haynes	Smith
	0	36	64	100	144		
Jagung	100	62,9	60,7	67,0	44,5	68	84,5
Kedelai	100	88,4	78,2	69,5	64,3	65	85,4
Oats	100	-	78,5	78,4	78,9	93	93,1

Sumber: Suripin (2002)

Dalam kaitannya dengan intersepsi, jenis kebun dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu: kebun campuran dan kebun sejenis. Nilai intersepsi dari masing-masing jenis ditampilkan pada Tabel 2, dan Tabel 3.

Tabel 2 Nilai Intersepsi pada Kebun Campuran di DAS Konto Atas

No.	Parameter	% dari hujan kotor
1	Evaporasi dari kanopi	0,30
2	Intersepsi saat hujan berlangsung	17,6
3	Intersepsi setelah hujan	8,8

Sumber: Van Dijk (2002) yang telah diolah

Tabel 3 Nilai Intersepsi pada Kebun dengan Tanaman Sejenis

No.	Jenis Tanaman	Int. (%)	Referensi
1	<i>Acacia aneura</i>	13,0	Pressland (1973)
2	<i>Acacia harpophylla</i>	15,2	Tunstall (1973)
3	<i>Aegle marmelos</i>	13,1	Yadav and Mishura (1985)
4	<i>Agropyron koeleria</i>	22,3	Couturier and Ripley (1973)
5	<i>Bouteloua Curtipendula</i>	18,1	Thurow et al. (1987)
6	<i>Crosotebush</i>	12,2	Tromble (1988)
7	<i>Digitaria deceumbens</i>	15,5	Acevedo et al. (1993)
8	<i>Eucalyptus</i>	8,3	Pook et al. (1991)
9	<i>Eucalyptus camadldulensis</i>	14,3	Heth and Karschon (1963)
10	<i>Eucalyptus Regnans</i>	23,3	Langford and O'Shaughnessy (1978)
11	<i>Eucalyptus Rossii</i>	10,6	Smith (1974)
12	<i>Eucalyptus Obliqua</i>	15,0	Feller (1981)
13	<i>Hilaria belangeri</i>	10,8	Thurow et al. (1987)
14	<i>Mixed conifer and hardwood</i>	22,0	Moul and Buell (1955)
15	<i>Montance rain forest</i>	18,2	Vaneklass et al. (1990)
16	<i>Oats</i>	20,5	Wollny (1890)
17	<i>Pinus radiata</i>	26,5	Pook et al. (1991)
18	<i>Pinus rigida</i>	19,1	Kim and Woo (1988)
19	<i>Pinus wallichina</i>	21,0	Singh and Gupta (1987)
20	<i>Rain forest</i>	8,9	Llyot et al. (1988)
21	<i>Rain forest</i>	27,0	Sollins and Drewry (1970)
22	<i>Soya beans</i>	32,0	Wollny (1890)
23	<i>Tarbush</i>	6,1	Tromble (1988)
24	<i>Neopanax arboreum scrub</i>	27,0	Wells and Blake (1972)
25	<i>Cypress</i>	26,0	Pereira (1952)
26	<i>Bamboo</i>	20,0	Pereira (1952)

Sumber: Zhang et al.(1999)

2.2 Infiltrasi

Air yang mencapai permukaan lahan sebagian akan meresap (infiltrasi) ke bawah permukaan lahan menjadi air bawah permukaan, sedangkan sisanya tertahan di atas permukaan lahan. Dalam proses infiltrasi, sebagian air mengisi dan tinggal di daerah perakaran bermanfaat bagi tanaman dan organisme, sebagian meresap ke bagian lebih dalam lagi (perkolasi) sampai pada lapisan jenuh air. Infiltrasi nyata (InfN) sangat tergantung dari kapasitas infiltrasi (InfK), dan bagian dari air hujan yang berpotensi untuk diresapkan.

Besarnya kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh faktor: (1). Dalamnya genangan di atas permukaan tanah, (2) Kadar Air Tanah, (3) Fisik tanah (4) Tumbuh-tumbuhan (Sumarto, 1986).

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. Walaupun penelitian tentang hal ini masih relatif sedikit, penulis mengusulkan adanya suatu koefisien yang menyatakan besarnya pengaruh penggunaan lahan terhadap kapasitas infiltrasi.

Dalam kaitannya dengan faktor fisik tanah, Rawls *et al.* (1982) merekomendasikan nilai infiltrasi yang merupakan fungsi dari klas tekstur tanah. Sedangkan Pitt. *et al.* (2001) melakukan pengukuran kapasitas infiltrasi di Monte Carlo, menghasilkan nilai yang selain dipengaruhi tekstur tanah juga dipengaruhi tingkat kepadatannya (Tabel 4).

Tabel 4 Rerata Infiltrasi di Monte Carlo

Kelompok	Jumlah titik uji	Rerata infiltrasi (inci/jam)
Tanah berpasir Tidak dipadatkan (<i>Noncompacted sandy soils</i>)	36	13
Tanah berpasir dipadatkan (<i>Compacted sandy soils</i>)	39	1,4
Tanah liat kering dan tidak dipadatkan (<i>Noncompacted and dry clayey soils</i>)	18	9,8
Semua jenis tanah lainnya - kering dan dipadatkan, serta seluruh kondisi kelembaban (<i>All other soils - compacted and dry, plus all wetter conditions</i>)	60	0,2

Sumber: Pitt *et al.* (2001) dalam Kustamar, dkk. (2007)

Terdapat 2 (dua) jenis model infiltrasi, yaitu: model empiris dan model berbasis fisik. Model empiris, dikembangkan berdasarkan pengamatan langsung dari kumulatif air yang terinfiltrasi. Persamaan yang dihasilkan hanya memperhatikan kumulatif infiltrasi dan rerata infiltrasi tanpa memperhitungkan sebaran kandungan airtanahnya. Model yang berjenis empiris tersebut ialah: Kostiakov's Equation, Horton's Equation, Mezencev's Equation, SCS Equation, Holtan's Equation, dan Boughton's Equation.

Model yang berbasis fisik, ialah: Green-Ampt Models (USEPA, 1998). Karena model ini dikembangkan atas dasar pendekatan proses fisik, maka dinilai sesuai jika digunakan dalam pemodelan hidrologi yang berbasis pendekatan kejadian fisik (Freyberg et al., 1980).

Singh et al.,(2002) menjelaskan bahwa: salah satu usaha yang paling awal untuk mengembangkan suatu teori infiltrasi ialah Green and Ampt, yang menggunakan prinsip penyederhaan tentang ilmu fisika dan memperoleh suatu rumusan yang masih populer untuk menghitung kapasitas infiltrasi. Persamaan dari Model Green and Ampt adalah:

$$I = K_s t - (h_f - h_s)(\phi_s - \phi_0) \log_e \left[1 - \frac{I}{(h_f - h_s)(\phi_s - \phi_0)} \right] \dots\dots\dots (1-1)$$

Dengan:

K_s = Daya hantar hidraulik tanah; $\text{InfN}(t)$ = Infiltrasi kumulatif dalam waktu t ,

h_s = tinggi tekan air pada permukaan lahan,

h_f = tinggi tekan air pada kedalaman Z , dan ϕ_s = kandungan air dalam keadaan jenuh, ϕ_0 = kandungan air dalam keadaan kering.

Dengan asumsi tidak terdapat masukan maupun keluaran air selain akibat gradien energi di lapisan tanah paling bawah, aliran keluar dari lapisan tidak jenuh dapat diprediksi dengan persamaan (Kendy et al., 2003):

$$L \frac{d\phi}{dt} = -K(\phi) \dots\dots\dots (1-2)$$

dengan: L , ϕ , t , dan K adalah ketebalan lapisan tanah tidak jenuh, rerata kandungan air tanah, waktu tinjauan, dan daya hantar hidraulis tanah tidak jenuh. Penyelesaian persamaan (10) memerlukan persamaan K yang merupakan fungsi ϕ .

Dalam hal ini diusulkan bentuk persamaan berupa eksponensial, dengan bilangan tak berdimensi β , sebagai berikut:

$$K(\phi) = K_s \cdot \text{eksp.} \left(-\beta \frac{\phi_s - \phi}{\phi_s - \phi_0} \right) \dots\dots\dots (1-3)$$

dengan: K_s , ϕ_s , dan ϕ_d adalah daya hantar hidraulis tanah jenuh, dan rerata kandungan air tanah dalam keadaan kering.

Dengan anggapan $\phi_d = 0$, dan penyelesaian integral menghasilkan persamaan:

$$\phi_{(t+\Delta t)} = \phi_s - \frac{\phi_s}{\beta} \ln \left[\frac{\beta K_s \Delta t}{L \phi_s} + \text{eksp.} \frac{\beta}{\phi_s} (\phi_s - \phi_{(t)}) \right] \dots \dots \dots (1-4)$$

dengan:

L = ketebalan lapisan tanah tidak jenuh,

ϕ = rerata kandungan air tanah,

ϕ_s = rerata kandungan air tanah dalam keadaan jenuh,

K_s = daya hantar hidraulis tanah jenuh,

β = Konstanta tak berdimensi

t = waktu tinjauan, dan daya hantar hidraulis tanah tidak jenuh.

Mengakomodasi adanya pengaruh infiltrasi nyata (InfN), dan Evapotranspirasi nyata (EtN) terhadap kondisi kelembaban tanah, dalam studi didekati dengan konsep keseimbangan massa. Berkaitan dengan Persamaan (1-4) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\phi_{(t+\Delta t)} = \phi_s - \frac{\phi_s}{\beta} \ln \left[\frac{\beta K_s \Delta t}{L \phi_s} + \text{eksp.} \frac{\beta}{\phi_s} (\phi_s - \phi_{(t)}) \right] + \text{InfN}_{(t)} - \text{EtN}_{(t)} \dots (1-5)$$

2.3 Evapotranspirasi

Hujan jatuh ke permukaan bumi, sebagian menguap kembali ke atmosfer (evaporasi) dan yang lain sampai ke permukaan lahan. Sebelum mencapai permukaan lahan, sebagian air yang jatuh di tumbuhan, akan terperangkap dalam proses intersepsi kemudian menguap kembali. Air di zona perakaran dan di lapisan bawahnya secara kapiler naik ke daun, dan menguap melalui stomata daun dalam proses transpirasi sedangkan air yang naik ke permukaan lahan kemudian menguap dalam proses evaporasi.

Terdapat 2 (dua) kelompok jenis pendekatan untuk mengetahui besarnya nilai evapotranspirasi, yaitu: Neraca Air dan Neraca Energi. Pendekatan Neraca Air, diterapkan untuk mengetahui besarnya jumlah kehilangan air pada suatu DAS, atau kawasan drainase yang secara hidrologis terkontrol.

Jika semua besaran volume air, baik sebagai masukan maupun keluaran (kecuali evapotranspirasi) dapat diukur maka dengan persamaan neraca air dapat diketahui besarnya kehilangan air akibat evapotranspirasi. Sebaliknya, pendekatan keseimbangan energi dilakukan dengan menyelesaikan satu persamaan yang memuat semua sumber dan kehilangan energi, serta menyisakan evapotranspirasi sebagai satu-satunya hal yang tidak diketahui. Metode ini memerlukan data yang banyak, sehingga jarang digunakan (Marjuki, 1993).

Berangkat dari pengertian bahwa evapotranspirasi akan terjadi jika terpenuhi adanya 2 (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. Dari penelitian secara empiris hubungan dari evapotranspirasi dengan beberapa faktor tersebut menghasilkan beberapa persamaan, yaitu Persamaan: Penman, Turc, Jensen and Haise, Blaney and Criddle, serta Thornthwaite. Nilai yang diperoleh dari rumusan empiris tersebut merupakan besarnya evapotranspirasi potensial (*potential evapotranspiration*). Sedangkan besarnya evapotranspirasi yang terjadi atau evapotranspirasi nyata (*actual evapotranspiration*) sangat tergantung ketersediaan kandungan air yang dapat diuapkan.

Uji banding telah dilakukan di Venezuela tahun 1963 (Gambar 2) antara formulasi: Jensen and Haise, Blaney and Criddle, dan Thornthwaite, dengan pengukuran langsung diperoleh hasil bahwa metode Thornthwaite cenderung memperoleh nilai paling rendah (Kijne, 1980). Demikian juga perbandingan antara Metode: Penman, Thornthwaite, Priestley and Taylor, dengan SSiB (Simplified Simple Biosphere Model) di Illinois 1998, periksa Gambar 3 (Mocko, et al., 1998).

Persamaan Evapotranspirasi Potensial metode Thornthwaite ialah sebagai berikut (Kijne, 1980):

$$E_{tk} = C_t * E_{ts} \dots\dots\dots (1-6)$$

Dengan:

$$E_{ts} = 1,6 \left(10 * \frac{T}{I} \right)^a \dots\dots\dots (1-7)$$

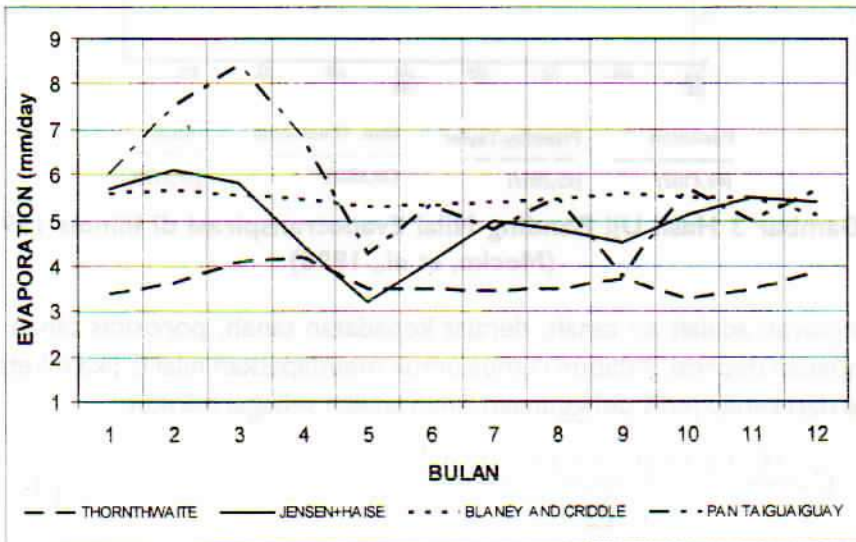
C_t = konstanta, yang besarnya dipengaruhi oleh lokasi penelitian yang diberikan pada Tabel: 5 dan 6. Sedangkan nilai: a, i, dan I adalah:

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,000077 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \dots\dots(1-8)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \dots\dots\dots(1-9)$$

$$I = \sum_{\text{Januari}}^{\text{Desember}} i \dots\dots\dots(1-10)$$

- Etk = kapasitas Evapotranspirasi bulanan (cm/bulan),
- Ets = kapasitas Evapotranspirasi bulanan semula / belum di sesuaikan dengan lokasi penelitian (cm/bulan),
- T = rerata temperatur udara harian (°C).

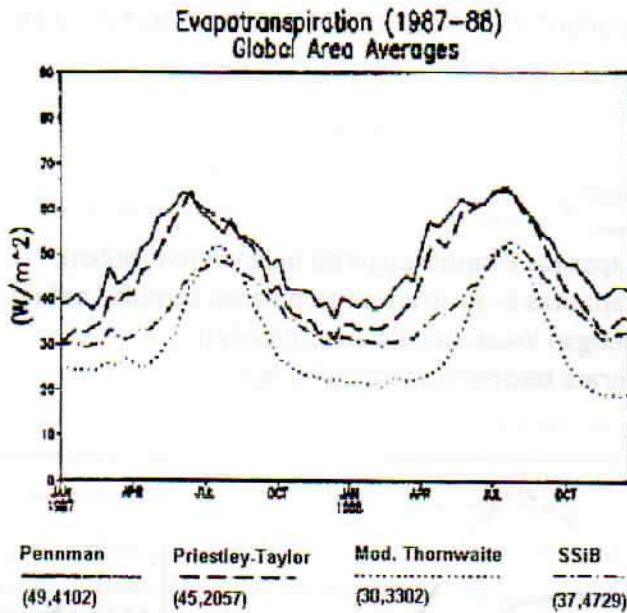


Gambar 2 Hasil Uji Banding Nilai Evapotranspirasi Potensial di Venezuela tahun 1963 (Kijne, 1980)

3. JENIS DAN KONDISI PENGGUNAAN LAHAN

3.1. Koefisien Pengaliran

Koefisien aliran permukaan atau yang sering disebut koefisien pengaliran didefinisikan sebagai nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan (Suripin, 2004). Besarnya nilai koefisien pengaliran didapatkan dari pengamatan medan, misalnya permeabilitas tanah. Semakin besar permeabilitas tanah maka semakin besar pula daerah resapan air sehingga limpasan menjadi sedikit. Faktor lain yang mempengaruhi nilai koefisien



Gambar 3 Hasil Uji Banding Nilai Evapotranspirasi di Illinois 1998
(Mocko, et al., 1998)

pengaliran adalah air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah dan simpanan depresi. Adapun rumus untuk mendapatkan nilai C jika diketahui luas dari setiap jenis penggunaan lahan adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{(C_1 x A_1) + (C_2 x A_2) + \dots (C_n x A_n)}{\sum A} \dots\dots\dots (1-11)$$

Besarnya nilai (C) yang sering digunakan sebagai pendekatan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 5 Nilai Koefisien Ct (koefisien Thornthwaite) o sd 50 °N

Month/ latitude ° N	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1,04	,94	1,04	1,04	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,02	,93	1,03	1,02	1,06	1,03	1,06	1,05	1,01	1,03	,99	1,02
10	1,99	,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	,98	,99
15	,97	,91	1,03	1,04	1,11	1,08	1,12	1,08	1,02	1,01	,95	,97
20	,95	,90	1,03	1,05	1,13	1,11	1,14	1,11	1,02	1,00	,93	,94
25	,93	,89	1,03	1,06	1,15	1,14	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
26	,92	,88	1,03	1,06	1,15	1,15	1,17	1,12	1,02	,99	,91	,91
27	,92	,88	1,03	1,07	1,16	1,15	1,18	1,13	1,02	,99	,90	,90

Month/ latitude	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
⁰ N												
28	,91	,88	1,03	1,07	1,16	1,16	1,18	1,13	1,02	,98	,90	,90
29	,91	,87	1,03	1,07	1,17	1,16	1,19	1,13	1,03	,98	,90	,89
30	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,17	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
31	,90	,87	1,03	1,08	1,18	1,18	1,20	1,14	1,03	,98	,89	,88
32	,89	,86	1,03	1,08	1,19	1,19	1,21	1,15	1,03	,98	,88	,87
33	,88	,86	1,03	1,09	1,19	1,20	1,22	1,15	1,03	,97	,88	,86
34	,88	,85	1,03	1,09	1,20	1,20	1,22	1,16	1,03	,97	,87	,86
35	,87	,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	,97	,86	,85
36	,87	,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	,97	,86	,84
37	,86	,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	,97	,85	,83
38	,85	,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	,96	,84	,83
39	,85	,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	,96	,84	,82
40	,84	,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	,96	,83	,81
40	,84	,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	,96	,83	,81
41	,83	,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	,96	,82	,80
42	,82	,83	1,03	1,12	1,26	1,27	1,28	1,19	1,04	,95	,82	,79
43	,81	,82	1,02	1,12	1,27	1,28	1,29	1,20	1,04	,95	,81	,77
44	,81	,82	1,02	1,13	1,28	1,29	1,30	1,20	1,04	,95	,80	,76
45	,80	,81	1,02	1,13	1,29	1,29	1,31	1,21	1,04	,94	,79	,75
46	,79	,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	,94	,79	,74
47	,77	,80	1,02	1,14	1,30	1,32	1,33	1,22	1,04	,93	,78	,73
48	,76	,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	,93	,77	,72
49	,75	,79	1,02	1,14	1,32	1,34	1,35	1,24	1,05	,93	,76	,71
50	,74	,78	1,02	1,15	1,33	1,36	1,37	1,25	1,06	,92	,76	,70

Sumber: Kijne (1980)

Tabel 6 Nilai Koefisien Ct (koefisien Thornthwaite) 5 sd 50 °S

Month/ latitude	J	P	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
⁰ S												
5	1,06	,95	1,04	1,00	1,02	,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	,97	1,05	,99	1,01	,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	,98	1,05	,98	,98	,94	,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	,97	,96	,91	,95	,99	1,00	1,08	1,09	1,15
25	1,17	1,01	1,05	,96	,94	,88	,93	,98	1,00	1,10	1,11	1,18
30	1,20	1,03	1,06	,95	,93	,85	,90	,96	1,00	1,12	1,14	1,21
35	1,23	1,04	1,06	,94	,89	,82	,87	,94	1,00	1,13	1,17	1,25
40	1,27	1,06	1,07	,93	,86	,78	,84	,92	1,00	1,15	1,20	1,29
42	1,28	1,07	1,07	,92	,85	,76	,82	,92	1,00	1,16	1,22	1,31
44	1,30	1,08	1,07	,92	,84	,74	,81	,91	,99	1,17	1,23	1,33
46	1,32	1,10	1,07	,91	,83	,72	,79	,90	,99	1,17	1,25	1,35
48	1,34	1,11	1,08	,90	,80	,70	,76	,89	,99	1,18	1,27	1,37
50	1,37	1,12	1,08	,89	,77	,67	,74	,88	,99	1,19	1,29	1,41

Sumber: Kijne (1980)

Tabel 7 Koefisien Pengaliran (C)

Diskripsi Lahan / Karakter Permukaan		C
Business	perkotaan	0.70 - 0.95
	Pinggiran	0.50 - 0.70
Perumahan	rumah tinggal	0.30 - 0.50
	multi unit, terpisah	0.40 - 0.60
	multi unit, tergabung	0.60 - 0.75
	perkampungan	0.25 - 0.40
	apartemen	0.50 - 0.70
Industri	Ringan	0.50 - 0.80
	Berat	0.60 - 0.90
Perkerasan	aspal dan beton	0.70 - 0.95
	batu bata, paving	0.50 - 0.70
Atap		0.75 - 0.95
Halaman, tanah berpasir	datar 2 %	0.05 - 0.10
	Rata, 2 - 7 %	0.10 - 0.15
	curam 7 %	0.15 - 0.20
Halaman, tanah berat	datar 2 %	0.13 - 0.17
	Rata, 2 - 7 %	0.18 - 0.22
	curam 7 %	0.25 - 0.35
Halaman kereta api		0.10 - 0.35
Taman tempat bermain		0.20 - 0.35
Taman, perkuburan		0.10 - 0.25
Hutan	datar, 0 - 5 %	0.10 - 0.40
	bergelombang, 5 - 10 %	0.25 - 0.50
	berbukit, 10 - 30 %	0.30 - 0.60
Daerah Pegunungan Curam		0,75 - 0,90
Daerah Pegunungan Tersier		0,70 - 0,80
Tanah Bergelombang dan Hutan		0,50 - 0,75
Tanah dataran yang ditanami		0,45 - 0,60
Persawahan yang diairi		0,70 - 0,80
Sungai di daerah pegunungan		0,75 - 0,85
Sungai kecil di dataran		0,45 - 0,75

Suripin (1989) dan Sosrodarsono (1987), dalam Kustamar dkk. (2007)

3.2. Koefisien Kekasaran Permukaan Lahan

Dalam pemodelan hidrologi DAS yang bersifat terdistribusi, proses aliran air di atas permukaan lahan didekati dengan aliran air melalui saluran terbuka. Berkaitan dengan parameter debit dan kedalaman air, dalam tinjauan spasial terdapat 2 pilihan anggapan jenis aliran yaitu: aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*). Sedangkan dalam tinjauan waktu terdapat pilihan aliran seragam (*steady flow*) atau tidak seragam (*unsteady flow*) (Henderson, 1989).

Dengan pembagian luas DAS ke dalam grid bujursangkar memungkinkan digunakan persamaan kekekalan momentum yang paling sederhana (tampang sungai prismatis) dari sebuah penggal sungai ialah (Haji, et al. 2001, Suharto, 2002):

$$A = \alpha I Q^{\beta 1} \dots\dots\dots (1-12)$$

Persamaan Manning yang diturunkan dengan anggapan $S_0 = S_f$ dan $R=A/P$, maka jika dibawa ke dalam bentuk Persamaan (7) akan menjadi:

$$A = \left(\frac{N * P^{(2/3)}}{\sqrt{S_0}} \right)^{(3/5)} * Q^{(3/5)} \dots\dots\dots (1-13)$$

Dengan: N, S_0 , dan P adalah koef. Kekasaran Manning, kemiringan permukaan lahan, dan keliling basah.

Tabel 8 Koefisien Kekasaran Manning

Penggunaan Lahan		Koef. Kekasaran Manning (N)
Jenis	Kondisi	
Pemukiman	72% kedap air	0,075
Pertanian	Kondisi Tanaman Baik	0,004
Semak Belukar	Alami	0,037
Hutan / Tanaman Keras	Kondisi Baik	0,600
Permukaan Air	Air Menggenang	0,037
Lahan basah Selain Hutan	Kondisi Tanaman Baik	0,130
Lahan Terbuka	Tandus	0,050
Rumput		0.04 *)
Beton	Kedap air	0.014 *)

Sumber: Yeo et al. (2003) dan *) Wong et al. (1992) dalam Kustamar dkk. (2007)

BAB II

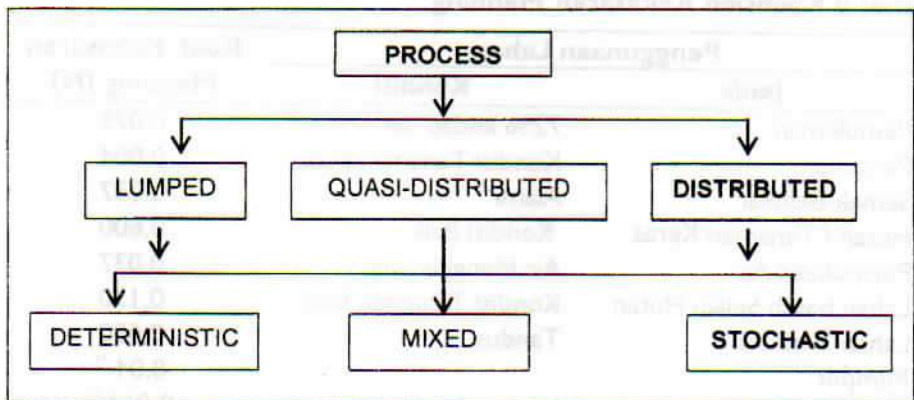
MODEL HIDROLOGI DAS

I. 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 pengalaman yang ditunjukkan deskripsi kuantitatif pada tahap "lahan" dari siklus hidrologi menjadi sangat rumit dan terdapat banyak ketidak-pastian (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, 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



Gambar 4. Klasifikasi Proses-Dasar Model DAS

dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu: terdistribusi (*distributed*), agak terdistribusi (*quasi-distributed*) dan kempal (*lumped*) (Gambar 4).

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. Model ini sesuai untuk kondisi dimana informasi spasial sangat terbatas, misalnya tentang sebaran hujan, jenis dan kondisi penggunaan lahan, jenis tanah, dan detail topografi. Informasi tentang model hidrologi berjenis kempal yang berhasil dikumpulkan ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Rangkuman Deskripsi Model Hidrologi DAS berjenis Kempal

No	Identitas Model	Komponen dan Pendekatan Konsep	Kemampuan
(1)	(2)	(3)	(4)
1	Nakayasu	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Panjang dan Kemiringan sungai	Mengitung Hidrograf Debit
2	Snyder	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran	Mengitung Hidrograf Debit
3	Rational	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Panjang dan Kemiringan sungai	Mengitung Debit Puncak
4	Gama I	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Jumlah anak sungai	Mengitung Hidrograf Debit
5	Melcior	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Bendtuk DAS, Panjang dan Kemiringan sungai	Mengitung Debit Puncak
6	Der Weduwen	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Koef. Reduksi, Panjang dan Kemiringan sungai, koefisien pengurangan luas	Mengitung Debit Puncak
7	Hasper	Hujan, Luas DAS, Koefisien Pengaliran, Koefisien reduksi	Mengitung Debit Puncak

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 (*Quasi-Distributed*).

Model berjenis terdistribusi dipandang sesuai untuk optimasi penggunaan lahan, karena dapat mengakomodasi variabilitas spasial kondisi penggunaan lahan. Ringkasan dari deskripsi masing-masing model disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Ringkasan Deskripsi Model Hidrologi DAS berjenis Terdistribusi

No	Identitas Model	Komponen dan Pendekatan Konsep	Kemampuan
(1)	(2)	(3)	(4)
1	SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Arnold <i>et al.</i> (1993)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hydrology, dan Biogeochemistry dengan konsep water-balance. 2. Limpasan permukaan dengan persamaan SCS 3. Aliran di Sungai, dengan routing. 4. Aliran air tanah. 5. SIG untuk analisis data dan penyajian hasil. 	<p>Prediksi efek perubahan: cuaca, vegetasi. Manajemen waduk terhadap produksi sedimen dan zat kimia pada DAS besar.</p>
2	TOPOG_IRM (CSIRO AUSTRALIA) Short <i>et al.</i> (1990) dalam Singh <i>et al.</i> , 2002	<ol style="list-style-type: none"> 1. Transpirasi dengan resistensi kanopy fungsi asimilasi bersih, kelembaban relatif, dan konsentrasi CO₂ 2. Infiltrasi dan Limp. Permukaan dengan model: Pers. Richards 3. Model gabungan antara vegetasi dengan atmosfer dengan konsep perubahan nilai dari defisit tekanan uap dari udara di kanopy 4. Keseimbangan karbon tanaman, dengan simulasi tumbuh tanaman 	<p>Prediksi interaksi dinamik antara tanah-vegetasi-atmosfer pada DAS</p>

(1)	(2)	(3)	(4)
3	FRHYMAP (Flood Risk and Hydrological MAPping) CREBS <i>et al.</i> (2001)	Model Hidrologi, dan hidrolika: 1. Limpasan permukaan (2-D), 2. Imbuhan air tanah, 3. Evapotranspirasi potensial jam-jaman, dengan Penman- Montrith.	Prediksi pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap debit banjir, dan permukaan air tanah
4	SHAL Zimmermann <i>et al.</i> (1995) dalam Singh <i>et al.</i> (2002)	Hidrologi, dan hidrolika. 1. Hujan, Evapotranspirasi, 2. Tampung permukaan, infiltrasi, 3. Limpasan permukaan 2-D, 4. Perkolasi, aliran di lapisan tidak jenuh, aliran jenuh.	Analisa hidrograf jam-jaman, dan profil memanjang muka air maksimum di sungai
5	SWIM (Soil and Water Integrated Model) Krysanova, <i>et al.</i> (1993) dalam Hattermann <i>et al.</i> (2002)	1. Limpasan permukaan dengan metode SCS (Soil Conservation Service) 2. Aliran lateral air tanah dengan Cinematic storage model; aliran air tanah dengan Smedema & Rycroft; 3. Aliran antar subbasin dengan Flood Routing Muskingum	Simulasi siklus hidrologi, erosi, pertumbuhan vegetasi, dan transportasi unsur hara pada DAS ukuran meso.
6	PRMS (Precipitation Runoff Modeling System) United States Geological Survey) (CREBS <i>et al.</i> , 2001)	1. Intersepsi fungsi dari kerapatan vegetasi, 2. Evapotranspirasi fungsi radiasi matahari, 3. Aliran air di atas dan bawah permukaan dengan routing Non-linier, 4. DAS dibagai dalam HRU 5. Dilengkapi SIG untuk: menampilkan data spasial dalam proses maupun hasil simulasi	Prediksi Debit harian, kontinyu

(1)	(2)	(3)	(4)
7	MIKE-SHE Gabungan antara: MIKE-II (DHI) DAN SHE (European Hydrological System Model, 1980 dalam IGWC, 2004)	1. SHE: Intersepsi. Aliran air di tanah tidak jenuh dengan persamaan Richard, Aliran air tanah dengan persamaan 3-D., Limpasan permukaan dengan 2-D persamaan difusi, 2. MIKE-II: aliran di saluran dengan routing 1-D.	Simulasi proses Aliran air di DAS
8	InHM (Integrated Hydrology Model) (Joel VanderKwaak, et al., 1993 dalam IGWC, 2004)	1. Limpasan permukaan dengan 2-D difusi gelombang, 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, 2004)	1. Analisa aliran horizontal aliran air tanah dengan finite elemen, 2. Antar lapis didekati oleh gerakan air vertikal.	Simulasi elevasi muka air tanah dalam berbagai lapis aquifer
10	MOGROW (Quener, 1994)	Gabungan model: Limpasan Permukaan, aliran air tanah di zone tidak jenuh, dan zone jenuh. 1. Aliran air tanah di Zone jenuh, dengan Grid segi tiga dan aliran 3 D. 2. Aliran air pada zone tidak jenuh didekati dengan aliran satu dimensi, dan didelineasi berdasarkan penggunaan lahan.	Prediksi Debit sungai, kontinyu

(1)	(2)	(3)	(4)
11	ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation) (Beasley dan Huggin, 1981, dalam Connolly et al., 1993, Suhartanto, 2001)	3. Aliran limpasan permukaan dianalisa dengan aliran seragam 1 D, dan topografi dibuat grid bujursangkar 1. Erosi dan sedimentasi dengan model USLE 2. Limpasan permukaan dengan "Hortonian overland flow runoff model" 3. Infiltrasi: "Holtan Model" diganti "Green and Ampt Model" 4. Permukaan lahan dibuat grid bujursangkar	Menghitung limpasan permukaan, mengevaluasi dan merumuskan tata guna lahan sesuai aspek konservasi dengan tujuan pengendalian erosi lahan
11	ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation) (Beasley dan Huggin, 1981, dalam Connolly et al., 1993, Suhartanto, 2001)	1. Erosi dan sedimentasi dengan model USLE 2. Limpasan permukaan dengan "Hortonian overland flow runoff model" 3. Infiltrasi: "Holtan Model" diganti "Green and Ampt Model" 4. Permukaan lahan dibuat grid bujursangkar	Menghitung limpasan permukaan, mengevaluasi dan merumuskan tata guna lahan sesuai aspek konservasi dengan tujuan pengendalian erosi lahan
12	MODFLOW (Helena Solo-Gabriele and Mark Nemeth, 2003 dalam IGWC, 2004)	Gabungan model limpasan permukaan dan aliran air tanah 1. Limpasan permukaan dengan aliran tidak permanen 1 D 2. Aliran air tanah, deferensi hingga 3-D 3. Sistem Data base dengan SIG	Prediksi Debit sungai, kontinyu

Dari ringkasan deskripsi masing-masing model hidrologi DAS pada Tabel 9 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.

2. PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI DAS

Model matematika hidrologi DAS dirancang untuk menjawab Pertanyaan Penman's pada suatu tingkatan detail yang tergantung pada masalah yang ada dan digunakan dalam spektrum yang luas berkisar antara manajemen DAS ke disain rancang-bangun. Model-model tersebut digunakan dalam perencanaan, disain, 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 perseediaan air.

Model DAS digunakan untuk memahami interaksi dinamis antar iklim dan "land-surface hidrologi". Sokrut (2001) memanfaatkan model hidrologi berjenis terdistribusi gabungan dari model limpasan permukaan dengan model 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 penurunan 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 (Bear *et al.*, 1992). Model air tanah adalah penyederhanaan dari sistem nyata (air tanah) dalam hal hubungan antar faktor-faktor yang berpengaruh serta responsinya 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 2 (dua) pertimbangan. Pertama, peningkatan pemahaman tentang variabilitas spasial dari proses hidrologi dan peran tentang penyekalaan. Ke dua, revolusi digital memungkinkan pemakaian SIG, teknik penginderaan jauh, dan manajemen sistem database. Di 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 (Buchanan *et al.*, 2001). Dalam manajemen pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan, "Decision Support System" (DSS) memerlukan sarana yang dapat digunakan untuk analisis spasial yang secara otomatis dapat digunakan untuk analisis kesesuaian lahan. Dengan teknologi yang sesuai, DSS dapat ditingkatkan mulai dalam hal "architecture", hingga implemantasi, dengan sistem komputasi mutakhir, misalnya dalam bentuk Sistem Informasi Geografis (SIG).

Dalam perkembangannya, DSS yang dikembangkan dan dilengkapi dengan sarana analisis spasial dikenal dengan "Spatial Decision Support System" (SDSS). Pemanfaatan "Decision Support" (DS) dalam pengaturan lahan, yang terdokumentasi antara lain seperti pada Tabel 7. SDSS di Indonesia berkembang pesat dalam hal penggalian informasi potensi sumberdaya alam (bahan tambang), dan kesesuaian lahan. Demikian juga dalam halantisipasi bencana alam, SDSS digunakan sebagai sistem peringatan dini misalnya untuk memprediksi daerah rawan longsor, dan sungai rawan banjir. Dengan dicetuskannya revolusi teknologi informasi, penginderaan jauh, teknologi satelit, sistem informasi geografis, visuil grafik, dan manajemen data base, model hidrologi terus semakin canggih dan terintegrasi dengan model proses lain. Demikian juga dengan penelitian ini, diharapkan

menghasilkan model yang dapat dikembangkan menjadi SDSS yang dapat digunakan dalam pengelolaan DAS.

Tabel 11 Pemanfaatan Decision Support Dalam Pengaturan Lahan

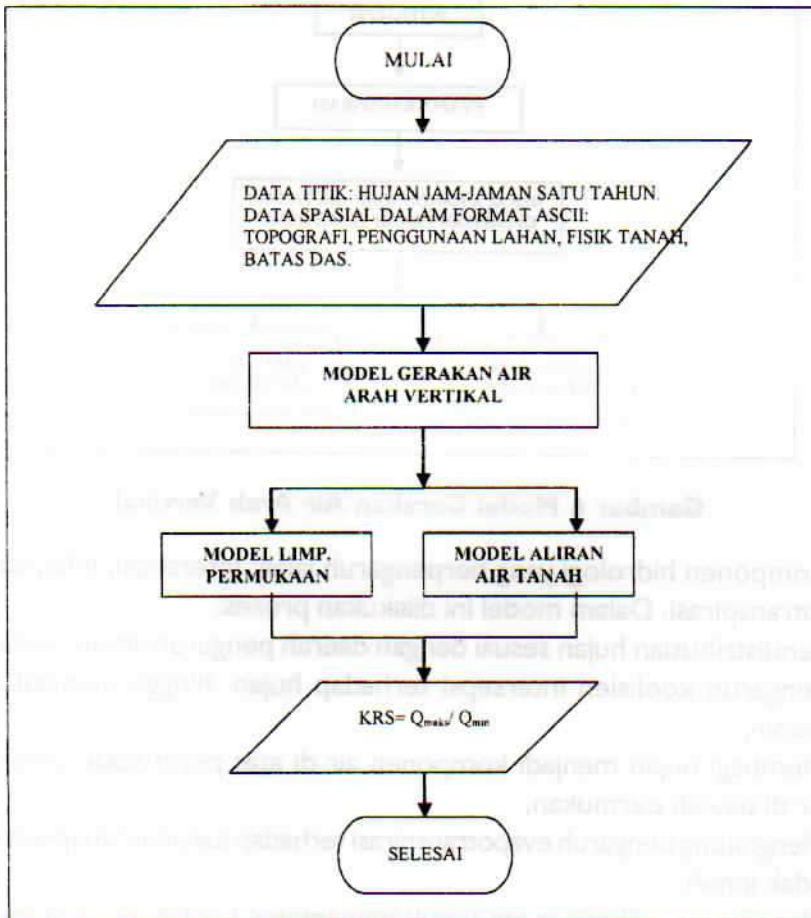
No	Pembuat	Tahun	Masalah
1	Harbor	1994	Pengaruh perubahan pengguna lahan terhadap pengisian kembali air tanah.
2	Vadas, et al.	1994	Sistem peringatan di "Central Valley, California).
3	Garcia dan Armbruster	1997	Analisis untuk perlindungan (habitat) Alam.
4	Arnold, et al.	2000	Pengaruh perubahan Penggunaan Lahan terhadap kualitas air.
5	Quanttrochi, et al.	2000	Investigasi perubahan panas kota.
6	Recalata, et al.	2000	Konflik antar pengguna air (industri & pertanian, di Valencia, Spanyol.
7	Sanders & Tabuchi	2000	Penggabungan data lingkungan dan resiko banjir dalam perencanaan kawasan, di Inggris.
8	"Tim Peneliti" Kustamar, dkk.	2007	Simulasi kondisi penggunaan lahan untuk pengendalian fluktuasi debit sungai.

Sumber: Buchanan, et al. (2001) dalam Kustamar dkk. (2004)

STRATEGI PENGEMBANGAN MODEL HIDROLOGI DAS

I. UMUM

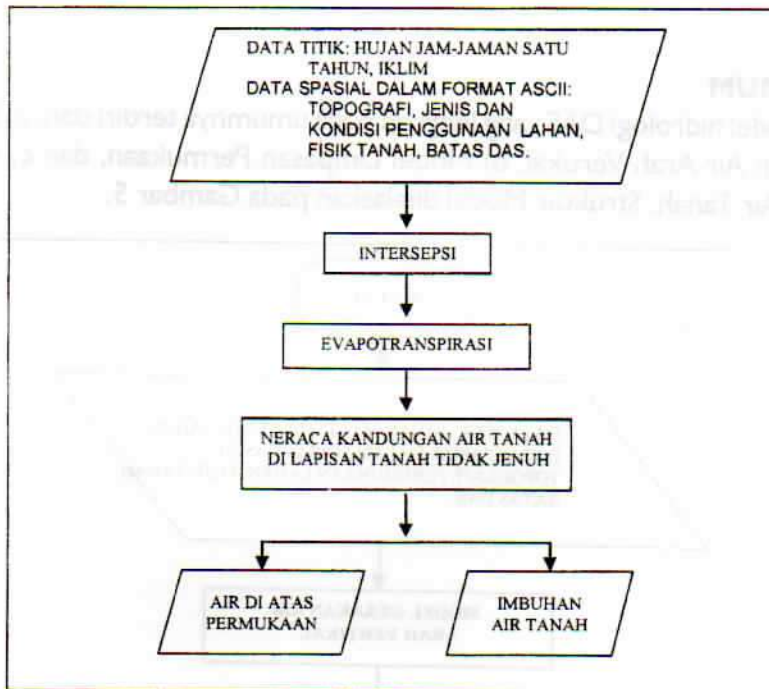
Model hidrologi DAS yang lengkap pada umumnya terdiri dari: a) Model Gerakan Air Arah Vertikal, b) Model Limpasan Permukaan, dan c) Model Aliran Air Tanah. Struktur Model dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5 Model Hidrologi DAS

2. MODEL GERAKAN AIR ARAH VERTIKAL

Proses perubahan distribusi vertikal air hujan menjadi air di atas permukaan tanah dan imbuhan air tanah, ditirukan dalam Model Gerakan Air Arah Vertikal (Gambar 6).



Gambar 6 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. Membagi hujan menjadi komponen air di atas permukaan (AAP) dan air di bawah permukaan,
4. Menghitung pengaruh evapotranspirasi terhadap kadar air di lapisan tanah tidak jenuh,
5. Menghitung infiltrasi nyata untuk mengetahui jumlah air yang menjadi imbuhan air tanah, sehingga berpengaruh langsung terhadap debit air tanah.

Dari seluruh rangkaian proses yang ada, faktor kapasitas infiltrasi merupakan data yang paling berperan. Hal tersebut mengingat perannya akan menentukan jumlah air yang akan menjadi limpasan permukaan dan yang akan menjadi debit air tanah. Oleh karena hal tersebut, di dalam program ini diberikan fasilitas untuk menggunakan hingga 10 (sepuluh) buah varian data kapasitas infiltrasi. Hal tersebut tentunya dapat untuk mengakomodasi pengaruh dari faktor-faktor: penggunaan lahan, kepadatan tanah, dan tekstur tanah terhadap kapasitas infiltrasi. Seperti halnya data hujan yang terukur di tiap stasiun hujan, data kapasitas infiltrasi harus didistribusikan ke arah spasial dengan membangun daerah pengaruh sebarannya.

2.1. Intersepsi

Besarnya intersepsi dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan, jenis komoditas, dan kondisi kerapatannya. Dalam kaitannya dengan analisa intersepsi hujan, jenis dan kondisi penggunaan lahan dikelompokkan menjadi:

1. Hutan, terdiri dari hutan alam (hutan lindung), hutan rapat, hutan parsial, dan hutan jarang.
2. Sawah atau ladang.
3. Kebun, terdiri dari kebun campuran, dan kebun sejenis.
4. Pemukiman,
5. Padang rumput, dan
6. Belukar alami. Periksa Gambar 7.

Sawah/Ladang

Berkurangnya jumlah hujan akibat intersepsi pada tanaman di sawah atau ladang, dipengaruhi oleh jenis dan kerapatan tanaman. Karena penelitian ini menjangkau DAS dengan luas sekitar 58 ribu ha, dan analisa debit dilakukan menerus sepanjang tahun maka dalam kaitannya dengan intersepsi, jenis komoditi tanaman di sawah dimana umurnya relatif singkat tidak diperhitungkan. Besarnya nilai intersepsi dihitung berdasarkan rerata nilai intersepsi dari berbagai jenis komoditas pada Tabel 1 dan Tabel 2, yaitu rerata hujan yang sampai ke permukaan tanah adalah 85,08 %, sehingga hujan yang terintersepsi sebesar 14,92 %.

Kebun dan Belukar

Nilai intersepsi dari kebun campuran didekati dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Van Dijk (2002) di DAS Konto atas, yaitu berkisar 17,6 %, dan 17,36 % pada kebun dengan tanaman sejenis (Zhang *et al.*, 1999). Referensi besarnya nilai koefisien intersepsi pada penggunaan lahan berupa belukar alami belum ditemui, sedangkan dari pengamatan di lokasi penelitian diperoleh kecenderungan adanya kesamaan dengan kebun campuran sehingga digunakan koefisien intersepsi sebesar 17,6 %.

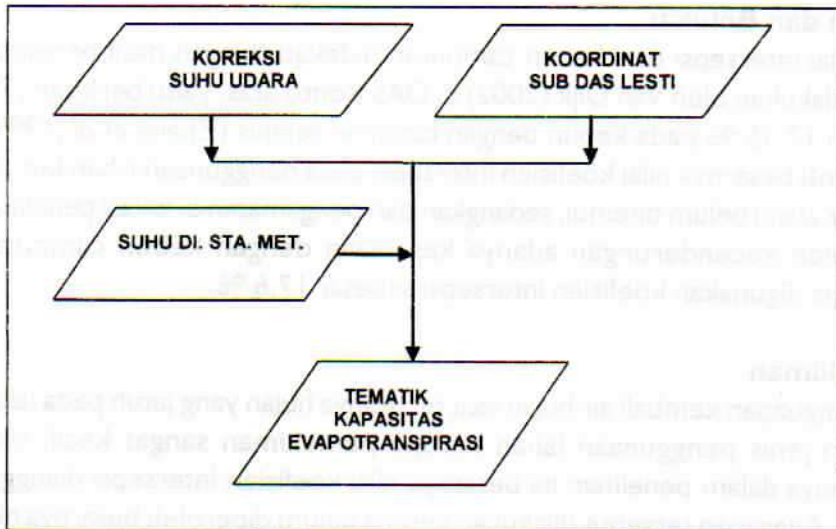
Pemukiman

Penguapan kembali air hujan saat terjadinya hujan yang jatuh pada lahan dengan jenis penggunaan lahan berupa pemukiman sangat kecil, oleh karenanya dalam penelitian ini besarnya nilai koefisien intersepsi dianggap = 0%. Anggapan tersebut dilakukan karena belum diperoleh besarnya nilai koefisien intersepsi pada kawasan pemukiman dari hasil penelitian.

2.2 Evapotranspirasi

Faktor evapotranspirasi dalam model hidrologi yang dikembangkan, merupakan faktor yang keberlangsungannya ditentukan oleh kondisi kandungan air tanah oleh karenanya dipilih model kapasitas evapotranspirasi. Mempertimbangkan bahwa model yang dikembangkan dalam penelitian ini ialah bertujuan mengetahui jumlah air yang akan mengalir melalui DAS hingga menjadi debit yang dikaitkan dengan fluktuasi debit sungai, serta peran nilai evapotranspirasi sebagai faktor pengurang dan adanya kecenderungan bahwa Model Thornwaite menghasilkan nilai yang relatif kecil dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh model lainnya (Mocko, *et al.*, 1998), maka dipilih Model Thornwaite.

Analisa kapasitas evapotranspirasi tersebut menggunakan Persamaan 1, 2, 3, 4, dan 5, yang mana prosesnya diilustrasikan pada Gambar 8. Dengan demikian, efek terhadap puncak banjir yang dihasilkan akan cenderung lebih tinggi. Pada dasarnya hasil hitungan yang dihasilkan adalah besarnya kapasitas evapotranspirasi dari tinjauan suhu udara. Besarnya evapotranspirasi nyata masih dipengaruhi oleh efek vegetasi dan ketersediaan potensi kandungan air tanah di lapisan tanah tidak jenuh. Efek vegetasi dalam model ini belum dapat terakomodasi, karena hingga laporan penelitian ini disusun belum diperoleh referensi tentang nilai faktor tanaman dari jenis tanaman hutan (yang diperoleh hanya faktor tanaman budidaya pertanian jenis buah-buahan dan pangan).



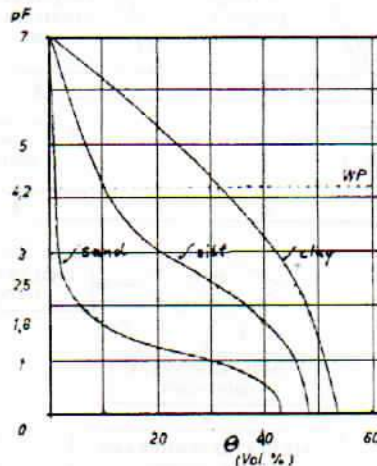
Gambar 8 Pembentukan Tematik Kapasitas Evapotranspirasi

2.3. Dinamika Air di Lapisan Tanah Tidak Jenuh

Faktor infiltrasi (Inf), dan Evapotranspirasi (Et) berpengaruh terhadap kondisi kandungan air pada lapisan tanah tidak jenuh sehingga berperan pada perubahan kelembabannya. Air yang masuk ke dalam lapisan tanah tidak jenuh secara gravitasi dalam proses infiltrasi disebut infiltrasi nyata (InfN), baik berasal dari air hujan, tampungan di permukaan tanah, maupun air irigasi. Energi panas Matahari menyebabkan suhu di atas permukaan tanah lebih tinggi di dibandingkan dengan di bawah permukaan tanah. Perbedaan suhu tersebut mengakibatkan terjadinya perbedaan tegangan, dan terjadinya gerakan air pada pori mikro secara kapiler. Gerakan air secara kapiler ke arah atas tersebut berlangsung saat terjadi evaporasi di permukaan tanah (Ev), dan transpirasi (Tr) pada stomata daun. Kedua proses tersebut berlangsung bersama-sama dan disebut evapotranspirasi (Et). Faktor iklim dan tanaman mempengaruhi kapasitas Evapotranspirasi, sedangkan Evapotranspirasi nyata (EtN) ditentukan oleh ketersediaan air dalam lapisan tanah di daerah perakaran.

Tanaman dapat menyerap air tanah saat kondisi kelembaban tanah melebihi titik layu, oleh karenanya evapotranspirasi hanya berlangsung saat $pF < 4,2$. Mengakomodasi adanya pengaruh infiltrasi nyata (InfN), dan Evapotranspirasi nyata (EtN) terhadap kondisi kelembaban tanah, dalam penelitian ini didekati dengan konsep keseimbangan massa yang ditunjukkan pada Persamaan (18).

Sedangkan Kurva hubungan antara kadar air tanah dengan pF untuk tanah bertekstur pasir dan clay diberikan pada Gambar 9.



Sumber: Stakman, W.P. (1980)

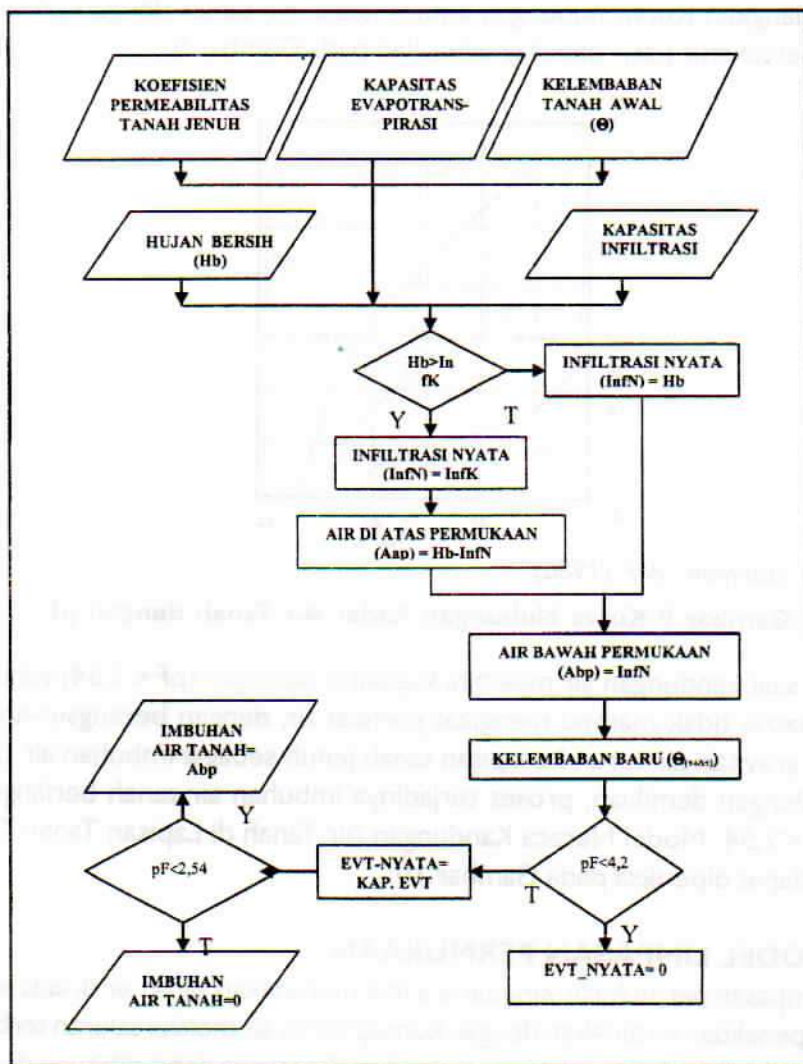
Gambar 9 Kurva Hubungan Kadar Air Tanah dengan pF

Di saat kandungan air melebihi kapasitas lapangan ($pF < 2,54$) sehingga gaya matrik tidak mampu mengikat partikel air, dengan berangsur-angsur secara gravitasi air turun ke lapisan tanah jenuh sebagai imbuhan air tanah (lat). Dengan demikian, proses terjadinya imbuhan air tanah berlangsung jika $pF < 2,54$. Model Neraca Kandungan Air Tanah di Lapisan Tanah Tidak Jenuh dapat diperiksa pada Gambar 10.

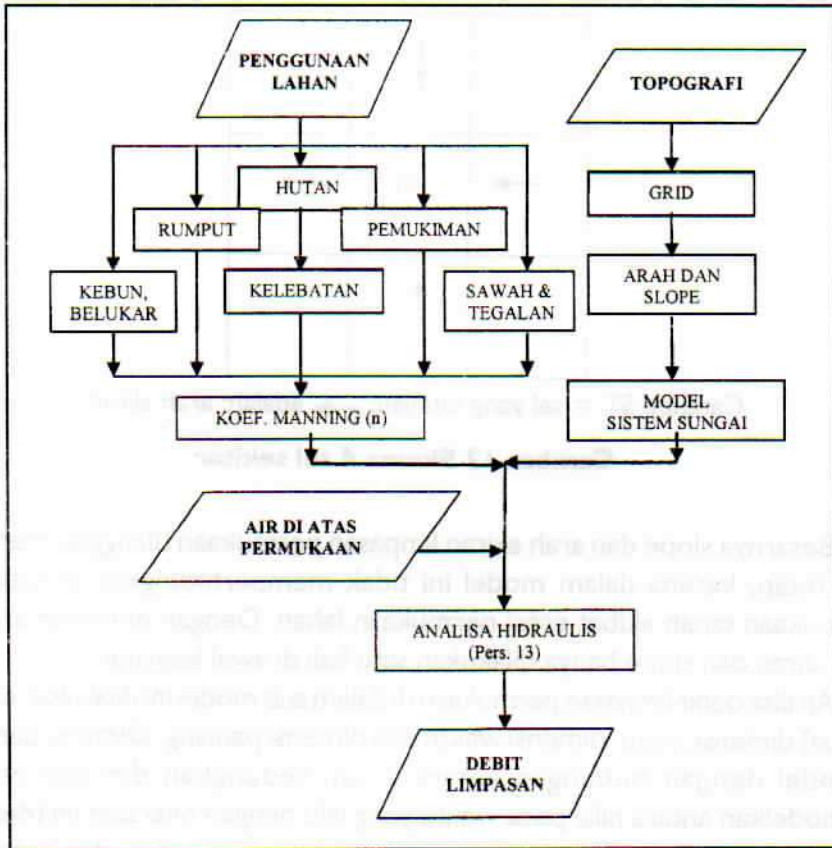
3. MODEL LIMPASAN PERMUKAAN

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. Besarnya debit dihitung dengan Persamaan (13).

Mengingat analisa dilakukan pada tiap sel, maka berdasarkan informasi dari DAS yang telah dibagi dalam grid bujur sangkar selanjutnya dibangun data spasial arah aliran dan kemiringan topografi. Proses analisa limpasan permukaan dijelaskan dengan alur pada Gambar 11.



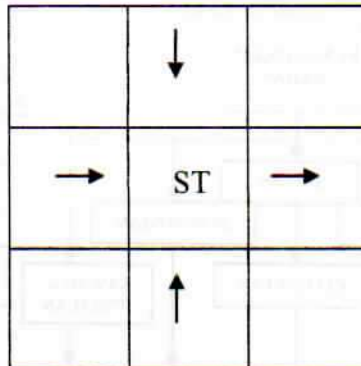
Gambar 10 Model Neraca Kandungan Air Tanah di Lapisan Tanah Tidak Jenuh



Gambar 11 Model Limpasan Permukaan

Untuk menghitung kumulatif aliran, digunakan konsep 4 (empat) sel sekitar (Gambar 12) dengan aturan sebagai berikut:

1. Arah aliran sejajar dengan sisi sel,
2. Semua sel yang arah alirannya menuju sel yang ditinjau akan memberikan kontribusi debit. Dengan demikian, debit di sel yang ditinjau merupakan kumulatif dari seluruh debit yang masuk.
3. Sel yang terletak pada posisi diagonal dari sel yang ditinjau dianggap tidak berpengaruh langsung pada tahap hitungan yang sama.



Catatan: ST = sel yang ditinjau; → adalah: arah aliran

Gambar 12 Skema 4 sel sekitar

Besarnya slope dan arah aliran limpasan permukaan dianggap memiliki nilai tetap, karena dalam model ini tidak memperhitungkan perubahan permukaan tanah akibat erosi permukaan lahan. Dengan demikian analisa arah aliran dan slope hanya dilakukan satu kali di awal kegiatan.

Analisa debit limpasan permukaan di dalam sub model ini dilakukan dalam 2 (dua) dimensi, yaitu: dimensi waktu dan dimensi panjang. Dimensi panjang ditandai dengan hubungan antara 2 sel, sedangkan dimensi waktu memodelkan antara nilai pada waktu yang lalu dengan nilai saat ini (dengan beda waktu DT). Hubungan antara nilai debit antar waktu dan antar sel dianalisa dengan mengikuti skema 4 titik Preisman.

Dalam analisa ini dimana nilai DX sudah diketahui dari sisi sel, maka faktor DT berperan sangat penting. Nilai DT yang lebih besar dari waktu tempuh aliran air pada sel yang bersangkutan akan mengakibatkan terjadinya pergeseran waktu tiba puncak banjir, dan sebaliknya semakin kecil nilai DT akan mengakibatkan waktu analisa semakin lama.

4. MODEL ALIRAN AIR TANAH

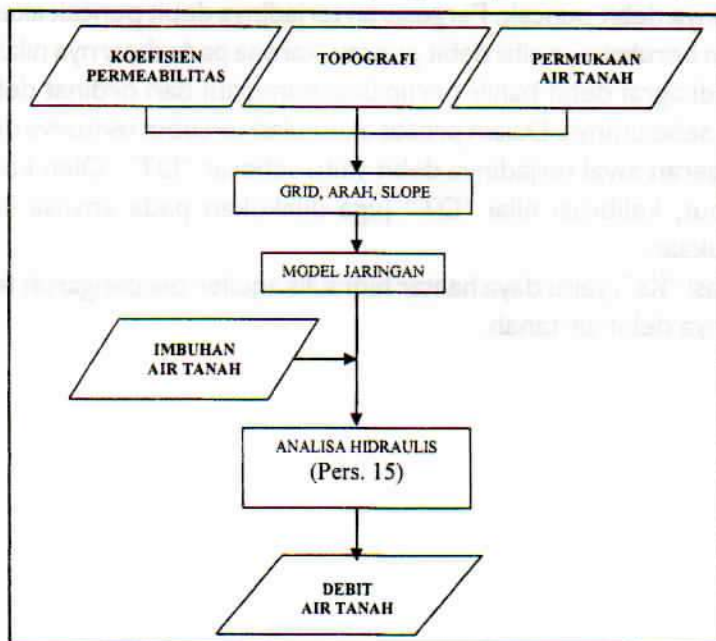
Dalam penelitian ini, model aliran air tanah dikembangkan dengan anggapan : a) Secara hidrologis, kondisi tanah dibedakan menjadi zona jenuh dan zona tak jenuh, b) air tanah terdapat pada aquifer bebas. Dalam pemodelan, lapisan aquifer dibagi dalam bentuk grid bujursangkar seperti pembagian terhadap topografi pada model limpasan permukaan. Hal tersebut dilakukan juga oleh Wang *et al.* (1982).

Lapisan tanah jenuh, sebagai aquifer pada pemodelan dianggap dalam keadaan bebas dengan batas bagian luar sama dengan batas DAS. Proses aliran antara Aliran Antara dengan Air Tanah dianggap menyatu, dalam satu arah. Untuk kepentingan tersebut, sistem grid di permukaan lahan diproyeksikan kearah bawah secara vertikal. Setiap sel, mempunyai ukuran ketebalan aquifer di setiap sisinya dan membentuk rangkaian sesuai dengan arah aliran. Skema model dijelaskan dalam Gambar 26. Analisa debit di tiap sel dilakukan dengan Persamaan (19).

Konsep manajemen aliran air antar sel yang digunakan pada sub program Gerakan Horizontal Aliran Air Tanah ialah identik dengan konsep yang digunakan pada sub program Gerakan Horizontal Aliran Limpasan Permukaan.

Besarnya nilai slope dan arah aliran selalu dihitung ulang pada setiap pergantian waktu hitungan. Hal ini dimaksudkan untuk mengakomodasi perubahan elevasi permukaan air tanah akibat adanya imbuhan air tanah, dan perbedaan debit yang masuk dan keluar sel.

Waktu tempuh yang diperlukan aliran air tanah pada satu sel besarnya relatif cukup besar, dan dengan dinamika perubahan tinggi debit yang relatif kecil maka dapat digunakan nilai DT yang cukup besar, misalnya 1 jam.



Gambar 13 Model Aliran Air Tanah

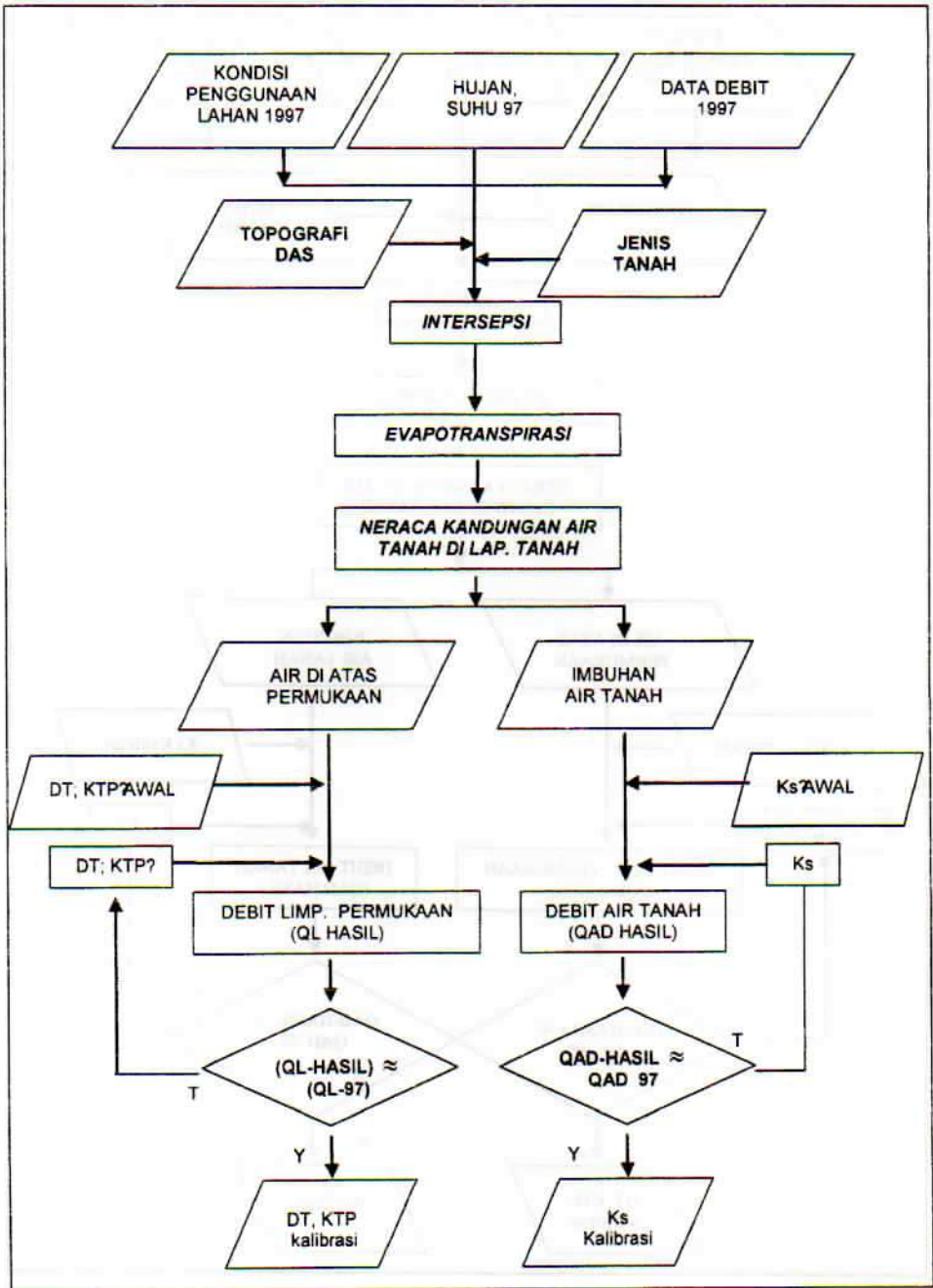
5. ARAH DAN SLOPE

Kemiringan dihitung dengan membandingkan antara selisih elevasi rerata tertinggi dan terendah, dengan panjang sisi sel. Sedangkan arah aliran dihitung dengan langkah: (1) Menghitung rerata elevasi masing-masing sisi sel, (2) Mencari elevasi rerata yang paling tinggi, dan (3) Menentukan arah, yaitu dari sisi elevasi rerata yang paling tinggi ke sisi hadapannya.

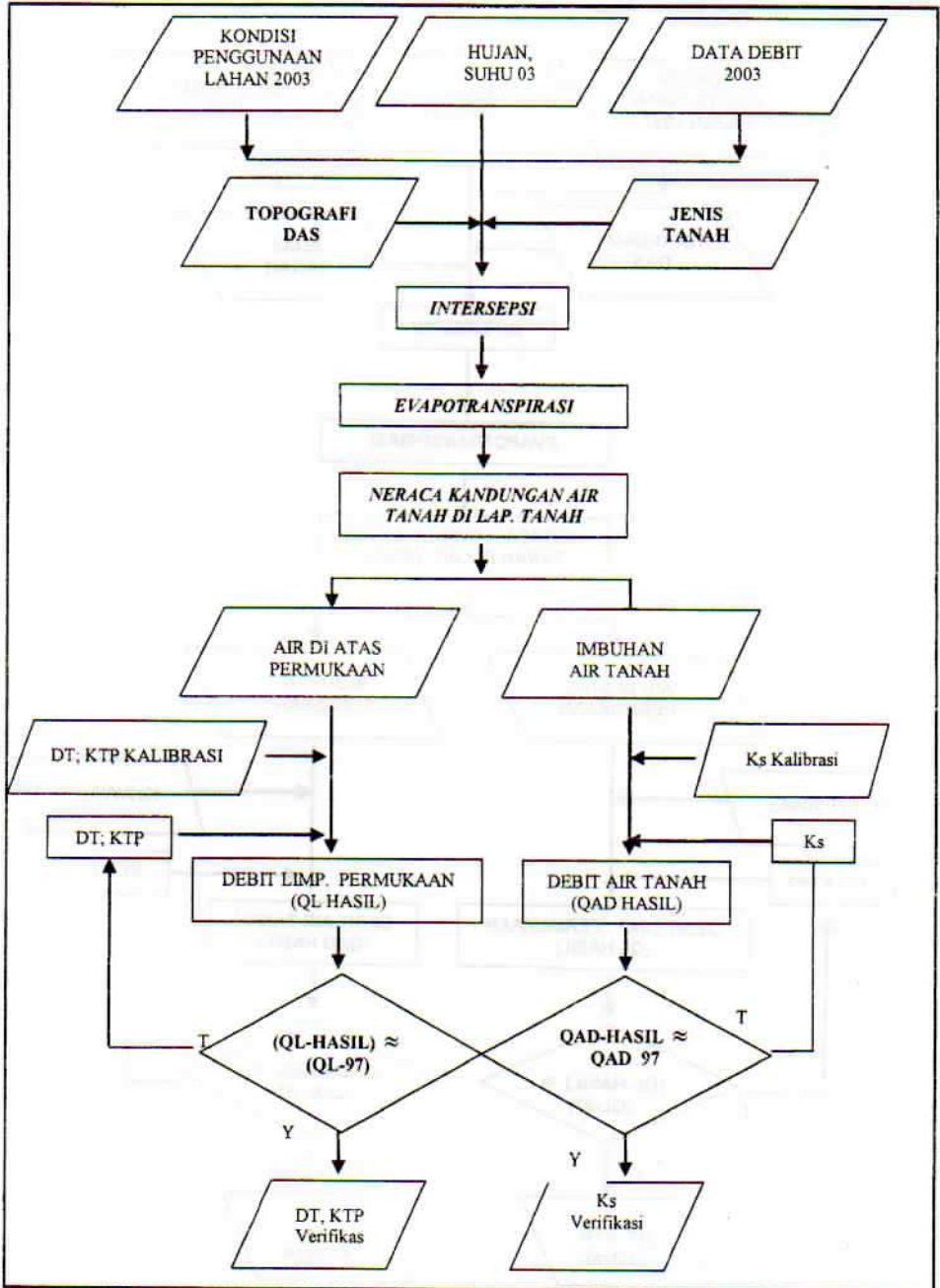
6. PENGUJIAN MODEL

Secara garis besar, kalibrasi dan verifikasi model dilakukan sebagaimana dijelaskan pada Gambar 14 dan Gambar 15.

1. Nilai "KTP", yaitu koefisien untuk mengoreksi pembagian air di atas dan di bawah permukaan akibat kurang tepatnya nilai kapasitas infiltrasi. Penyediaan fasilitas tersebut (KTP) didasarkan pada kenyataan bahwa kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang hubungannya sangat kompleks, dan perannya yang sangat dominan di dalam menentukan perbandingan antara air yang di atas dan di bawah permukaan tanah. Besarnya air di atas permukaan tanah sangat berpengaruh terhadap besarnya debit limpasan permukaan.
2. Nilai "DT", yaitu selang waktu analisa, berpengaruh terhadap waktu terjadinya debit puncak. Pergeseran terjadinya debit puncak akan diikuti dengan berubahnya nilai debit puncak, karena pada dasarnya nilai ordinat dari hidrograf debit banjir merupakan kumulatif dari ordinat debit pada waktu sebelumnya. Dalam proses akumulasi tersebut tentunya dilakukan pergeseran awal terjadinya debit yaitu sebesar "DT". Oleh karena hal tersebut, kalibrasi nilai "DT" juga dilakukan pada analisa limpasan permukaan.
3. Kalibrasi "Ks", yaitu daya hantar hidraulis aquifer berpengaruh terhadap besarnya debit air tanah.



Gambar 14 Alir Proses Kalibrasi DT, KTP, dan Ks



Gambar 15 Alir Proses Verifikasi DT, KTP, dan Ks

BAB IV

MODEL HIDROLOGI DAS “SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI”

1 DISKRIPSI MODEL

Dalam pengembangan model dilakukan improvisasi terhadap model hidrologi DAS yang telah ada, dan penggabungan dengan model identifikasi kondisi lahan, serta penambahan beberapa sarana untuk meningkatkan kemampuan model. Dengan perlakuan tersebut menghasilkan Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai, dengan diskripsi sebagai berikut:

1. Model berjenis konseptual-terdistribusi,
2. Mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam proses alihragam hujan menjadi aliran sungai dengan parameter: kekasaran *Manning* (n), Koefisien koreksi pengaruh penggunaan lahan terhadap kapasitas infiltrasi (K_k), dan Koefisien Intersepsi (I_t)
3. Model Limpasan Permukaan dengan konsep aliran tidak seragam satu dimensi (1D), menggunakan skema 4 titik Preissmann.
4. Dapat menghitung debit jam-jaman menerus sepanjang tahun, dan KRS,
5. Dapat mengidentifikasi kondisi lahan,
6. Dapat secara otomatis memperbaiki penggunaan lahan dan menentukan lokasinya sesuai dengan skenario yang di-*input*-kan,
7. Dapat membaca data penggunaan lahan hasil analisa citra satelit,
8. Dapat mencetak peta hasil rencana perbaikan penggunaan lahan berbasis SIG dengan format ASCII yang dapat diubah kedalam format raster atau vektor.

2 TAMPILAN MODEL

Tampilan program terdiri dari dua kelompok, yaitu: kelompok tampilan MEMPERBAIKI DATA dan kelompok tampilan MELIHAT HASIL.

Kelompok tampilan **MEMPERBAIKI DATA** terdiri dari sub kelompok tampilan: **UMUM**, **HUJAN**, **FISIK DAS**, dan **SIMULASI**, dengan uraian sebagai berikut:

- a). Sub kelompok **HUJAN** terdiri dari: tampilan data poligon, dan tampilan file data hujan jam-jaman bulan **JANUARI** hingga bulan **DESEMBER**.
- b). Sub kelompok **FISIK DAS** terdiri dari: tampilan file data **TOPOGRAFI**, dan **MUKA AIR TANAH**, serta sub-sub kelompok tampilan: **FISIK TANAH** dan **PENGGUNAAN LAHAN**. Yang mana sub-sub kelompok tampilan **FISIK TANAH** terdiri dari tampilan file data **SEBARAN** dan **KLASIFIKASI**. Sedangkan sub-sub kelompok tampilan **PENGGUNAAN LAHAN** terdiri dari tampilan file data **PENGGUNAAN LAHAN** dan **KOEF. INTERSEPSI & MANNING**.
- c). Sub kelompok **SIMULASI**, terdiri dari tampilan data: **BOBOT PARAMETER**, dan **RENCANA PERBAIKAN**.

Kelompok tampilan **MELIHAT HASIL** terdiri dari tampilan file hasil analisa: **KONDISI LAHAN**, **DEBIT JAM-JAMAN**, **DEBIT RERATA HARIAN**, dan **KRS**, serta sub kelompok **PERBAIKAN PENGGUNAAN LAHAN**. Sub kelompok **PENGGUNAAN LAHAN** terdiri dari tampilan file hasil analisa: **RENCANA PERBAIKAN LAHAN SANGAT KRITIS**, **RENCANA PERBAIKAN LAHAN KRITIS**, **RENCANA PERBAIKAN LAHAN AGAK KRITIS**, dan **RENCANA PENGGUNAAN LAHAN**. Program dapat diaktifkan dengan malakukan “**dobel_klik**” pada file: **SAMPUL PROGRAM** kemudian dilanjutkan dengan menekan tombol **F5**, maka akan terlihat tampilan seperti pada Gambar 15. Pada tampilan gambar tersebut terdapat alertif langkah yang dapat dipilih, yaitu: **MENGHITUNG**, **MEMPERBAIKI DATA**, **MELIHAT HASIL**, dan **KELUAR**.

Pilihan **MENGHITUNG** merupakan perintah kepada program untuk melakukan hitungan debit dan **KRS**, sedangkan pilihan **MEMPERBAIKI DATA** dapat digunakan untuk sarana melihat dan atau memperbaiki data. Hasil hitungan dapat dilihat pada pilihan **MELIHAT HASIL**, dan jika **KELUAR** yang dipilih maka kita akan keluar dari program.

2.1 Program Utama



Gambar 15 Tampilan Program Utama

2.2 Fasilitas Memperbaiki Data

Pilihan MEMPERBAIKI DATA akan mengantarkan kita ke pilihan: UMUM, HUJAN, dan FISIK DAS (Gambar 16).



Gambar 16 Tampilan Sarana Memperbaiki Data

Pilihan UMUM merupakan sarana untuk membuka file: Data Umum. Pilihan HUJAN dan FISIK DAS untuk menuju ke tampilan pilihan berikutnya.

2.2.1 Data Umum

Jika pilihan UMUM pada Gambar 16 di_klik, maka akan terbuka file yang berisi data-data yang dikelompokkan dalam data yang bersifat umum dengan tampilan seperti pada Gambar 17.

Gambar 17 Tampilan File Data Umum

Struktur data dari file: DATA UMUM tersebut diberikan pada Tabel 13, dengan penjelasan pada Tabel 14.

Tabel 13 Struktur Data UMUM

Kolom /Baris	A	B	C	D	E	F
1	DX	DT	KTP	THETA_P	THETA_S	THETA_I
2	SK	K	AK			
3	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN

Kolom /Baris	G	H	I	J
1	JUMLAH_STA	Q_BASE_FLOW	THN	KOLOM_TINJAU
2				
3	JUL	AGT	SEP	OKT

Kolom /Baris	K	L	M
1	BARIS_TINJAU	X_SUDUT	Y_SUDUT
2			
3	NOP	DES	

Tabel 14 Penjelasan Struktur Data UMUM

No	NOTASI	URAIAN	SATUAN
1	DX	Ukuran Grid	meter
2	DT	Selang Waktu Hitungan	Menit
3	KTP	Koefisien Tinggi Puncak	
4	THETA_P	Koef. Pemberat waktu Preissman	
5	THETA_S	Rerata kandungan air tanah saat jenuh	%
6	THETA_I	Rerata kandungan air tanah	%
7	JUMLAH_STA	Jumlah Stasiun Hujan	
8	Q_BASE_FLOW	Debit terkecil di tahun data	m ³ /detik
9	THN	Tahun Data	
10	KOLOM_TINJAU	Nomor Kolom yang ditinjau debitnya	
11	BARIS_TINJAU	Nomor Baris yang ditinjau debitnya	
12	X_SUDUT	Nilai X pada koordinat titik sudut kiri atas pada sistem grid	
13	Y_SUDUT	Nilai Y pada koordinat titik sudut kiri atas pada sistem grid	
14	SK	Konfirmasi perbaikan pada lahan berkondisi Sangat Kritis	
15	K	Konfirmasi perbaikan pada lahan berkondisi Kritis	
16	AK	Konfirmasi perbaikan pada lahan berkondisi Agak Kritis	
17	JAN	Konfirmasi analisa limpasan permukaan pada bulan Januari.	
18	DES	Konfirmasi analisa limpasan permukaan pada bulan Desember.	

2.2.2 Data Hujan

Pengisian data yang tidak sesuai dengan format, misalnya kurang akan mengakibatkan program tidak dapat berjalan hingga selesai. Jumlah data hujan jam-jaman selama setahun cukup banyak, dan berpotensi mengakibatkan terjadinya kesalahan yang cukup menyulitkan di dalam pengisian data. Oleh karenanya, maka format data hujan jam-jaman selama satu tahun disimpan pada 12 (dua belas) file, yang masing-masing terdiri dari data hujan jam-jaman setiap bulan. Jumlah hari pada setiap bulannya disesuaikan dengan jumlah hari kalender, kecuali pada bulan Pebruari selalu dibuat sebanyak 29 (dua puluh sembilan) hari. Jika dalam bulan Pebruari tersebut ternyata hanya terdiri dari 28 hari, maka data hari ke 29 tidak akan terbaca. Kepastian jumlah hari dalam bulan Pebruari tersebut dapat di-input-kan melalui file: data umum.

Jika pilihan Hujan pada Gambar 16 di-klik maka akan tampil Gambar 18, yaitu merupakan sarana untuk mengisikan atau memperbaiki data hujan jam-jaman tersebut, serta data daerah pengaruh stasiun hujan. Data daerah pengaruh stasiun hujan berformat ASCII dengan angka yang sebarannya menunjukkan daerah yang dipengaruhi oleh suatu stasiun, dan angkanya mewakili nomor dari stasiun hujan yang dimaksud.



Gambar 18 Tampilan Sarana Melihat Data Hujan

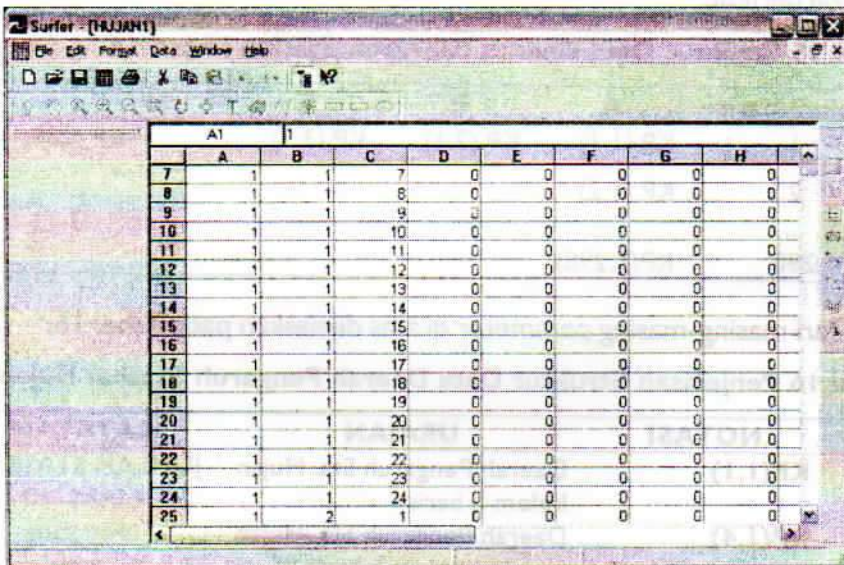
2.2.2.1 Tampilan Data Hujan

Pilihan BULAN JANUARI hingga BULAN DESEMBER pada Gambar 18 akan menampilkan file data hujan jam-jaman selama satu bulan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 19 untuk bulan Januari.

Nilai pada kolom A dan kolom B menunjukkan bulan dan tanggal, sedangkan kolom C menunjukkan jam saat terjadinya hujan. Data hujan jam-jaman dicatat pada kolom D hingga M. Kolom D, untuk hujan yang tercatat pada stasiun 1, kolom E untuk hujan yang tercatat pada stasiun 2, dan seterusnya hingga kolom M untuk hujan yang tercatat pada stasiun 10.

2.2.2.2 Daerah Pengaruh Stasiun

Pilihan DAERAH PENGARUH STASIUN PADA Gambar 18 akan menampilkan Gambar 20 yang merupakan sarana untuk menyimpan data pengaruh stasiun hujan yang dianalisa dengan konsep Poligon Thiessen. Masing-masing daerah pengaruh diberi tanda angka yang sama dengan nomor stasiun hujan-nya.



	A1	1							
	A	B	C	D	E	F	G	H	
7	1	1	7	0	0	0	0	0	
8	1	1	8	0	0	0	0	0	
9	1	1	9	0	0	0	0	0	
10	1	1	10	0	0	0	0	0	
11	1	1	11	0	0	0	0	0	
12	1	1	12	0	0	0	0	0	
13	1	1	13	0	0	0	0	0	
14	1	1	14	0	0	0	0	0	
15	1	1	15	0	0	0	0	0	
16	1	1	16	0	0	0	0	0	
17	1	1	17	0	0	0	0	0	
18	1	1	18	0	0	0	0	0	
19	1	1	19	0	0	0	0	0	
20	1	1	20	0	0	0	0	0	
21	1	1	21	0	0	0	0	0	
22	1	1	22	0	0	0	0	0	
23	1	1	23	0	0	0	0	0	
24	1	1	24	0	0	0	0	0	
25	1	2	1	0	0	0	0	0	

Gambar 19 Tampilan File Data Hujan Bulan Januari

	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE
181	3	3	3	3	3	3	3	3
182	3	3	3	3	3	3	3	3
183	3	3	3	3	3	3	3	3
184	3	3	3	3	3	3	3	3
185	3	3	3	3	3	3	3	3
186	3	3	3	3	3	3	3	3
187	3	3	3	3	3	3	3	3
188	3	3	3	3	3	3	3	3
189	3	3	3	3	3	3	3	3
190	3	3	3	3	3	3	3	3
191	3	3	3	3	3	3	3	3
192	3	3	3	3	3	3	3	3
193	3	3	3	3	3	3	3	3
194	3	3	3	3	3	3	3	3
195	3	3	3	3	3	3	3	3
196	3	3	3	3	3	3	3	3
197	3	3	3	3	3	3	3	3
198	3	3	3	3	3	3	3	3
199	3	3	3	3	3	3	3	3

Gambar 20 Tampilan File Data Daerah Pengaruh Stasiun

Tampilan Struktur data daerah pengaruh stasiun hujan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 15 Struktur Data Daerah Pengaruh Stasiun Hujan

Kolom/baris	A	B	C	
1	KP (1,1)	KP (2,1)	KP (3,1)	KP (269,1)
2	KP (1,2)			
...				
290	KP(1,290)			

Arti dari masing-masing parameter di atas dijelaskan pada Tabel 16.

Tabel 16 Penjelasan Struktur Data Daerah Pengaruh Stasiun Hujan

No	NOTASI	URAIAN	CATATAN
1	KP(1,1)	Daerah Pengaruh Sta. Hujan kolom I, baris I	JUMLAH STASIUN, MAKS. 10
2	KP(1,4)	Daerah Pengaruh Sta. Hujan pada sel kolom I, baris IV	Nilai yang tercantum
3	KP(2,1)	Daerah Pengaruh Sta. Hujan sel kolom II, baris I	menunjukkan nomor stasiun hujan
4	KP(1,JML_BRS)	Daerah Pengaruh Sta. Hujan pada sel kolom I, jumlah baris	
5	KP(JML_KLM,I)	Daerah Pengaruh Sta. Hujan jumlah kolom, baris I	

2.2.3 Data Fisik DAS

Gambar 21 merupakan tampilan dari pilihan FISIK DAS pada Gambar 16, yang memberikan alternatif pilihan: TOPOGRAFI, PENGGUNAAN LAHAN, FISIK TANAH, dan MUKA AIR TANAH.



Gambar 21 Tampilan Sarana Melihat Data Fisik DAS

2.2.3.1 Topografi

Pilihan TOPOGRAFI pada Gambar 21 dapat digunakan untuk membuka file yang berisi elevasi topografi pada setiap titik sudut sel (Gambar 22).

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	AJ
175	370	375	375	374	372	366	362	362	362	362
177	374	376	374	373	371	366	369	369	369	369
178	374	373	372	370	369	364	360	360	360	361
179	372	371	368	365	369	350	350	350	350	350
180	372	370	366	364	360	351	351	351	351	351
181	371	370	366	351	354	353	364	364	364	361
182	371	370	366	353	353	356	375	375	375	400
183	370	370	366	350	353	366	362	362	362	405
184	369	369	367	350	348	372	363	363	363	415
185	369	366	364	354	352	358	371	371	371	417
186	367	364	363	357	351	349	373	373	373	394
187	365	364	363	362	356	349	369	369	369	379
189	367	369	364	359	350	344	366	366	366	370
189	377	336	340	330	357	358	364	364	364	365
190	353	354	353	357	368	375	377	377	377	374
191	362	363	365	371	378	396	392	392	392	386
192	372	371	374	379	394	415	421	421	421	401
193	367	364	385	389	410	447	423	423	423	405
194	406	411	412	402	408	432	413	413	413	394

Gambar 22 Tampilan File Data Topografi

Struktur data dari file: ELEVASI_TOPOGRAFI.DAT tersebut adalah:

Tabel 17 Struktur Data Elevasi Topografi

Kolom/ Baris	A	B	C	D	E
1	E(1,1)	E(2,1)	E(3,1)	E(4,1)	E(269,1)
2	E(1,2)				
3	E(1,3)				
290	E(1,290)				

Penjelasan dari Tabel 17 adalah sebagai berikut:

Tabel 18 Penjelasan Struktur Data Elevasi Topografi

No	NOTASI	URAIAN	SATUAN
1	E(1,1)	Elevasi Topografi pada sel kolom I, baris I	meter
2	E(1,2)	Elevasi Topografi pada sel kolom I, baris II	Meter
3	E(2,1)	Elevasi Topografi pada sel kolom II, baris I	Meter

2.2.3.2 Penggunaan Lahan

Gambar 24 menampilkan sarana untuk membuka file yang berisi data penggunaan lahan, dan file yang berisi klasifikasi jenis dan kondisi penggunaan lahan. Gambar tersebut akan tampil jika pilihan PENGGUNAAN LAHAN pada Gambar 21 di-klik.

Pada program yang dibangun disediakan vasilitas pembedaan sebanyak 13 varian yang bebas diisi sesuai dengan jenis dan kondisi penggunaan lahan yang ada.



Gambar 24 Tampilan Sarana Melihat Data Penggunaan Lahan

2.2.3.3 Sebaran Data

Data sebaran jenis dan kondisi penggunaan lahan disimpan pada file: LAND_COVER.DAT (Gambar 25).

	A1	B	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH
89	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
90	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
91	0	0	0	0	0	0	0	5	6	5
92	0	0	0	0	0	0	0	6	6	6
93	0	0	0	0	0	0	0	6	6	5
94	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
95	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5
96	0	0	0	0	5	5	5	6	5	5
97	0	0	0	5	5	5	5	5	5	6
98	0	5	6	5	5	5	5	5	5	5
99	0	5	5	6	6	6	5	5	5	5
100	6	5	6	6	6	5	5	5	5	5
101	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5
102	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
103	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6
104	5	6	6	6	6	5	5	6	6	5
105	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5
106	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5
107	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5

Gambar 25 Tampilan File Data Kondisi Penggunaan Lahan

Angka yang tertera pada setiap sel adalah klas dari jenis dan kondisi penggunaan lahan, yang pada penelitian ini dibuat dalam 13 klas sebagai berikut: 1. Hutan Alam, 2. Hutan Rapat, 3. Hutan Parsial, 4. Hutan Jarang, 5. Kebun Campuran, 6. Kebun Sejenis, 7. Sawah Irigasi, 8. Sawah Tadah Hujan, 9. Tegalan, 10. Pemukiman, 11. Rumput, 12. Belukar, 13. Air Tawar. Struktur data dari File: LAND_COVER.DAT adalah sebagai berikut:

Tabel 19 Struktur Data Penggunaan Lahan

KOLOM/BARIS	A	B	C	
1	LAND (1,1)	LAND (2,1)	LAND (3,1)	LAND(269,1)
2	LAND (1,2)			
290	LAND (1,290)			

Penjelasan tentang arti dan posisi notasi pada Tabel 19 adalah sebagai berikut:

Tabel 20 Penjelasan Struktur Data Penggunaan Lahan

No	NOTASI	URAIAN	SATUAN
1	LAND (1,1)	Identitas Kondisi Penggunaan Lahan pada sel kolom I, baris I	
2	LAND (1,2)	Identitas Kondisi Penggunaan Lahan pada sel kolom I, baris II	
3	LAND (2,1)	Identitas Kondisi Penggunaan Lahan pada sel kolom II, baris I	

2.2.3.4 Klasifikasi

Klasifikasi penggunaan lahan yang disertai nilai koefisien intersepsi dan koefisien Manning, disimpan pada file yang ditampilkan pada Gambar 27.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	HUTAN ALAM	21.00	0.00											
3	HUTAN RAPAT	20.30	0.50											
4	HUTAN PARSIAL	19.63	0.40											
5	HUTAN LARANG	6.41	0.30											
6	KEBUN CAMPURAN	17.80	0.13											
7	KEBUN SEJENIS	17.36	0.13											
8	SAWAH IRIGASI	8.60	0.004											
9	SAWAH TADAH HUJAN	9.88	0.004											
10	TEGALAN	9.80	0.004											
11	PERMUKMAN	0	0.375											
12	RUMPUT	0	0.04											
13	BELUKAR	17.60	0.037											
14	AIR TAWAR	0	0.037											
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														

Gambar 27 Tampilan File Koef. Intersepsi dan Koef. Manning

Tabel 21 Struktur Data Koef. Intersepsi dan Koef. Manning

Kolom/Baris	A	B	
1	Jml klas		
2	Penggunaan Lahan ke-I	Koef. Ints	Koef. Man
.....			
14	Penggunaan Lahan ke-13	Koef. Ints	Koef. Man

Penjelasan dari struktur data tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 22 Penjelasan Struktur Data Koef. Intersepsi dan Koef. Manning

No	PARAMETER	URAIAN	SATUAN
1	Jml klas	Jumlah klas data penggunaan lahan, maksimum 13	
2	Koef. Ints.	Koef. Intersepsi untuk Penggunaan Lahan yang bersesuaian	%
3	Koef. Man.	Koef. Manning untuk Penggunaan Lahan yang bersesuaian	

2.2.3.5 Fisik Tanah

Pilihan FISIK TANAH pada Gambar 21 jika diaktifkan akan menampilkan Gambar 28, yang memberikan pilihan SEBARAN DATA dan KLASIFIKASI.



Gambar 28 Tampilan Sarana Melihat Data Fisik Tanah

2.2.3.6 Sebaran Data

Gambar 29 merupakan tampilan dari pilihan SEBARAN DATA pada Gambar 28. Nilai yang diisikan pada setiap sel adalah nomor urut klas tekstur tanah yang didefinisikan, di dalam penelitian ini dibatasi sebanyak 10 varian.

	A1	B								
	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ		
63	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
64	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
65	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
66	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
67	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
68	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
69	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
70	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
71	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
72	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
73	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
74	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
75	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
76	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
77	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
78	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
79	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
80	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6
81	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6

Gambar 29 Tampilan File Data Sebaran Fisik Tanah

2.2.3.7 Klasifikasi

Pilihan **KLASIFIKASI** pada Gambar 28 merupakan sarana untuk membuka file yang berisi tentang data fisik tanah, yaitu: klas tekstur, kandungan air pada pF2, kandungan air pada pF4, kapasitas infiltrasi, kandungan air tanah di lapisan tanah tidak jenuh pada saat survey sebagai kondisi awal dalam perhitungan, daya hantar hidraulis tanah (Gambar 30).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1	22.00	12.00	33.4	22.1	15											
2	2	21.51	10.00	73	22.50	19											
3	3	33.54	20.40	14.4	20.51	19											
4	4	25	13.32	19.71	11.54	19											
5	5	45.2	23.90	54.2	22.1	19											
6	6	32.31	29.84	54.2	22.52	19											
7	7	31.72	10.12	51.1	20.31	19											
8	8	33.54	20.40	15.4	20.31	19											
9	9	22.28	12.90	35.4	22.1	19											
10	10	21.51	10.00	73	22.52	19											

Gambar 30 Tampilan File Data Klasifikasi Fisik Tanah

Struktur data dari file: FISIK_TANAH.DAT adalah sebagai berikut:

Tabel 25 Struktur Data Fisik Tanah

Kolom/ Baris	A	B	C	D	E	F
1	KLAS_TEKSTUR (1)	PF_2 (1)	PF_4 (1)	KAP_INFILT (1)	THETA (1)	KS (1)
2	KLAS_TEKSTUR (2)	PF_2 (2)	PF_4 (2)	KAP_INFILT (2)	THETA (2)	KS (2)
3	KLAS_TEKSTUR (3)	PF_2 (3)	PF_4 (3)	KAP_INFILT (3)	THETA (3)	KS (3)

10	KLAS_TEKSTUR (10)	PF_2 (10)	PF_4 (10)	KAP_INFILT (10)	THETA (10)	KS (10)

Sedangkan arti dari masing-masing parameter tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 26 Penjelasan Struktur Data Fisik Tanah

No	NOTASI	URAIAN	SATUAN
1	KLAS_TEKSTUR	Klasifikasifikasi tanah berdasarkan tekstur	
2	PF_2	Tegangan air tanah, saat kap. lapangan	
3	PF_4	Tegangan air tanah, saat titik layu	
4	KAP_INFILT	Nilai Kapasitas Infiltrasi	mm / jam
5	THETA	Rerata kandungan air tanah	%
6	KS	Daya hantar hidraulik tanah	m / detik

2.2.3.8 Muka Air Tanah

Gambar 31 merupakan tampilan dari pilihan MUKA AIR TANAH pada Gambar 21.

	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
135	411	411	410	406	384	402	409	410
136	413	412	410	404	383	397	409	409
137	411	411	407	384	399	402	409	409
138	409	409	399	384	401	404	407	409
139	408	399	382	397	401	404	406	409
140	396	371	387	399	401	403	406	406
141	372	397	403	401	402	403	406	406
142	404	402	402	401	402	403	406	406
143	406	401	390	400	402	404	406	406
144	401	399	387	399	401	403	406	409
145	397	397	397	399	399	402	406	409
146	397	397	397	397	399	399	403	406
147	396	396	397	397	397	397	401	406
148	396	396	397	397	397	397	401	406
149	396	396	397	397	397	398	400	406
150	393	396	397	397	397	398	398	399
151	391	396	397	398	399	398	396	394
152	387	392	393	394	396	394	398	396
153	385	387	386	384	386	384	384	383

Gambar 31 Tampilan File Data Muka Air tanah

Nilai yang terlihat di setiap sel adalah elevasi permukaan air tanah, yang diperoleh dari hasil perubahan kontur permukaan air tanah ke dalam bentuk format ASCII. Struktur data dari file: ELEVASI_GWL.DAT tersebut adalah:

Tabel 27 Struktur Data Elevasi Permukaan Air Tanah

Kolom/ Baris	A	B	C	D	E
1	GWL(1,1)	GWL (2,1)	GWL (3,1)	GWL (4,1)	GWL	GWL (269,1)
2	GWL(1,2)					
3	GWL(1,3)					
4	GWL(1,4)					
5	GWL(1,5)					
290	GWL(1,290)					

Dengan penjelasan arti dari masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

Tabel 28 Penjelasan Struktur Data Elevasi Permukaan Air Tanah

No	NOTASI	URAIAN	SATUAN
1	GWL(1,1)	Elevasi permukaan air tanah pada sel kolom I, baris I	meter
2	GWL(1,2)	Elevasi permukaan air tanah pada sel kolom I, baris II	meter
3	GWL(2,1)	Elevasi permukaan air tanah pada sel kolom II, baris I	meter

2.2.4 Simulasi

Gambar 32 merupakan tampilan dari pilihan SIMULASI pada Gambar 16, yang memberikan alternatif pilihan: BOBOT PARAMETER, dan RENCANA PERBAIKAN.



Gambar 32 Tampilan Sarana Mengisi Data Simulasi

2.2.4.1 Bobot Parameter

Pilihan BOBOT PARAMETER pada Gambar 32 akan menampilkan format data bobot parameter yang merupakan data masukan pada proses identifikasi kondisi lahan (Gambar 33).

Gambar 33 Tampilan File Bobot Parameter

Struktur data dari file: BOBOT PARAMETER.DAT adalah sebagai berikut:

Tabel 29 Struktur Data Bobot Parameter

Klm/ Brs	A	B	C	E
1	Skor_Lereng_A	Skor_Lereng_B		Skor_Lereng_E
2	Skor_Land_A	Skor_Land_B		Skor_Land_E
3	Skor_Kap_Infilt_A	Skor_Kap_Infilt_B		Skor_Kap_Infilt_E
4	Skor_Hujan_A	Skor_Hujan_B		Skor_Hujan_E
5	Total_Skor_Kond_1	Total_Skor_Kond_2		Total_Skor_Kond_5

Sedangkan arti dari masing-masing parameter tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 30 Penjelasan Struktur Data Bobot Parameter

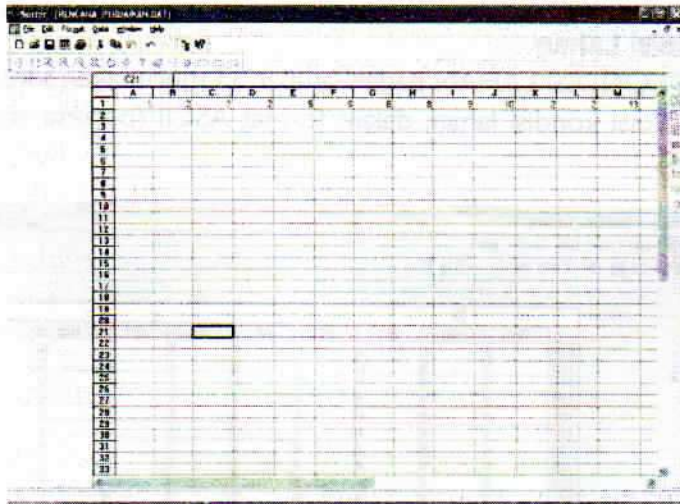
No	NOTASI	URAIAN
1	Skor_Lereng	Skor berdasarkan klasifikasi kelerengan topografi
2	Skor_Land	Skor berdasarkan penggunaan lahan
3	Skor_Kap_Infilt	Skor berdasarkan kapasitas infiltrasi
4	Skor_Hujan	Skor Berdasarkan hujan
5	Total_Skor_Kond	Jumlah Skor sebagai batas klas kondisi lahan

2.2.4.2 Rencana Perbaikan

Pilihan RENCANA PERBAIKAN pada Gambar 32 akan menampilkan format data rencana perbaikan penggunaan lahan yang merupakan data masukan pada proses perbaikan penggunaan lahan sesuai dengan skenario yang direncanakan (Gambar 34).

Tabel 31 Penjelasan Arti Tempat dari Struktur Data Rencana Perbaikan

No.	Kolom	Perbaikan Dari Penggunaan Lahan Kondisi Eksisting berupa:	No.	Kolom	Perbaikan Dari Penggunaan Lahan Kondisi Eksisting berupa:
1	A	Hutan Alam	7	G	Tegalan
2	B	Hutan Rapat	8	H	Sawah Irigasi
3	C	Hutan Parsial	9	I	SawahTadah Hujan
4	D	Hutan Jarang	10	J	Pemukiman
5	E	Kebun Campuran	11	K	Padang Rumput
6	F	Kebun Sejenis	12	L	Belukar
			13	M	Air Tawar



Gambar 34 Tampilan File Rencana Perbaikan

Struktur data pada file tersebut terdiri dari: satu baris data, mulai kolom A hingga kolom M. Arti tempat dari masing-masing kolom dijelaskan pada Tabel 31, sedangkan arti nilai dari masing-masing angka dijelaskan pada Tabel 32.

2.3 Fasilitas Melihat Hasil

Untuk melihat hasil perhitungan digunakan sarana pilihan MELIHAT HASIL yang dapat dipilih pada Gambar 16, kemudian mengantarkan kita pada tampilan Gambar 33.



Gambar 33 Tampilan Sarana Melihat Hasil

2.3.1 Kondisi Lahan

Pilihan KONDISI LAHAN pada Gambar 33 merupakan sarana melihat hasil identifikasi kondisi lahan, dalam format ASCII (periksa contoh pada Gambar 34).

	A1	B	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH
117	3	4	3	6	6	6	6	6	6	6
118	3	3	5	4	6	6	6	6	6	6
119	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6
120	3	3	3	4	4	6	6	6	6	6
121	4	3	4	4	4	5	5	5	5	5
122	3	4	4	3	3	3	3	4	4	4
123	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4
124	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
125	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
126	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4
127	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
128	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3
129	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3
130	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
131	4	3	6	6	6	6	6	6	6	6
132	3	3	6	4	3	3	3	3	3	3
133	3	6	6	6	4	3	3	3	3	3
134	6	6	6	6	4	4	3	3	3	3
135	6	6	6	6	4	4	3	3	3	3

Gambar 34 Tampilan File Hasil Analisa Kondisi Lahan dalam Format ASCII

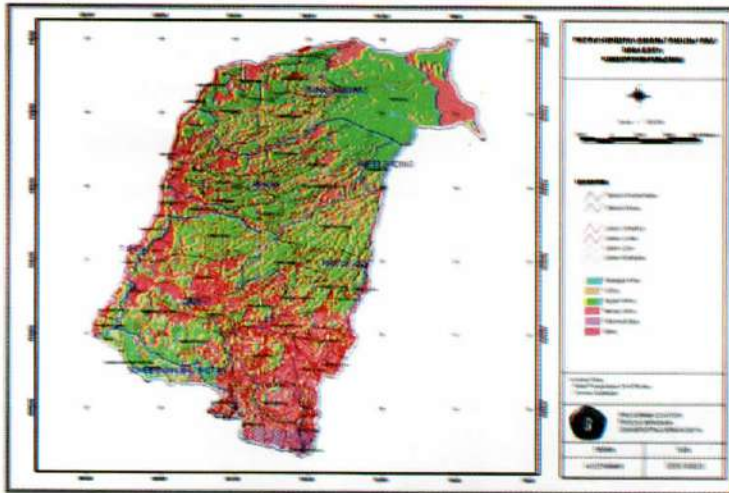
Nilai yang terlihat di setiap sel pada tampilan hasil analisa kondisi lahan menunjukkan klas dari kondisi lahan yang ditinjau. Pada penelitian ini, kondisi lahan diklasifikasi sebagai berikut: 1). Sangat Kritis, 2). Kritis, 3). Agak Kritis, 4). Mulai Kritis, 5). Normal Alami, dan 6). Baik.

File hasil identifikasi kondisi lahan yang semula dalam format ASCII dapat diubah ke dalam format raster. Jika dikehendaki sajian peta yang dikaitkan dengan informasi batas administratif, hasil analisa kondisi lahan yang sudah diubah ke dalam format raster tersebut ditumpang susun dengan batas administratif (Gambar 35).

2.3.2 Perbaikan Penggunaan Lahan

Pilihan PERBAIKAN PENGGUNAAN LAHAN pada Gambar 33 mengantarkan kita ke tampilan Gambar 36. Pada gambar tersebut diberikan alternatif pilihan fasilitas untuk membuka file yang menyimpan data hasil analisa lahan dengan kondisi yang bersesuaian, yaitu: lahan sangat kritis, lahan kritis, dan lahan agak kritis.

Hasil identifikasi kondisi lahan menunjukkan lokasi dan jumlah sel yang merupakan data masukan untuk perencanaan perbaikan. Agar lebih aplikatif, data tersebut dikaitkan dengan informasi batas administratif berupa nama desa. Yang dimaksud dengan 1 sel dalam analisa ini identik dengan petak lahan berukuran 100 m x 100 m (sama dengan ukuran sisi sel dalam pembentukan grid, atau sama dengan nilai DX).



Gambar 35 Tampilan File Peta Hasil Analisa Kondisi Lahan



Gambar 36 Tampilan Sarana Melihat Hasil Rencana Perbaikan Penggunaan Lahan

Sajian hasil analisa kondisi lahan pada tampilan Gambar 54, 55, dan 56 menunjukkan bahwa: kolom A, dan B, adalah: nomor urut, dan nama desa. Sedangkan Kolom C dan D adalah koordinat dari titik tengah petak. Informasi jenis penggunaan lahan diberikan pada kolom E.

2.3.2.1 Lahan Sangat Kritis

Gambar 37 merupakan tampilan file yang memuat data hasil analisa kondisi lahan dengan klas Sangat Kritis, yang mana untuk membukanya digunakan pilhan LAHAN SANGAT KRITIS pada Gambar 36.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
37	PANDANSARI	701019	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
38	SUMBEREJO	702119	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
39	SUMBEREJO	702219	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
40	SUMBEREJO	702319	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
41	SUMBEREJO	702419	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
42	NGADAS	702519	9085567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
43	PANDANSARI	701419	9085667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
44	SUMBEREJO	703019	9085667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
45	SUMBEREJO	702119	9085667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
46	SUMBEREJO	702219	9085667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
47	SUMBEREJO	702319	9085667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
48	SUMBEREJO	701719	9085767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
49	SUMBEREJO	701819	9085767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
50	SUMBEREJO	701919	9085767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
51	SUMBEREJO	702019	9085767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
52	NGADAS	703219	9086067	HUTAN_JARANG	HUTAN RAPAT				
53	SUMBEREJO	701519	9086067	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
54	NGADAS	704519	9086067	HUTAN_JARANG	HUTAN RAPAT				
55	SUMBEREJO	701319	9086167	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
56	SUMBEREJO	701419	9086167	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
57	SUMBEREJO	701219	9086367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
58	SUMBEREJO	701119	9086367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
59	SUMBEREJO	701219	9086367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
60	SUMBEREJO	696719	9086467	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
61	SUMBEREJO	701119	9086467	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				

Gambar 37 Tampilan File Rencana Perbaikan Lahan Sangat Kritis

2.3.2.2 Lahan Kritis

Pilihan LAHAN KRITIS pada Gambar 36 merupakan sarana membuka file yang membuat informasi hasil identifikasi kondisi lahan dengan klas Lahan Kritis dengan sajian yang diperlihatkan pada Gambar 38.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
25	25 PANDANSARI	700419	9084367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
26	26 PANDANSARI	700519	9084367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
27	27 PANDANSARI	700619	9084367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
28	28 PANDANSARI	700719	9084307	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
29	29 PANDANSARI	700819	9084367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
30	30 PANDANSARI	700919	9084467	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
31	31 PANDANSARI	700319	9084567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
32	32 PANDANSARI	701119	9084567	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
33	33 PANDANSARI	699819	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
34	34 PANDANSARI	699019	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
35	35 PANDANSARI	700019	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
36	36 PANDANSARI	700119	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
37	37 PANDANSARI	700319	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
38	38 PANDANSARI	701119	9084667	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
39	39 PANDANSARI	699919	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
40	40 PANDANSARI	700119	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
41	41 PANDANSARI	700219	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
42	42 PANDANSARI	700319	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
43	43 PANDANSARI	700419	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
44	44 PANDANSARI	700519	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
45	45 PANDANSARI	700619	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
46	46 PANDANSARI	700719	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
47	47 PANDANSARI	700819	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
48	48 PANDANSARI	700919	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					
49	49 PANDANSARI	701119	9084767	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS					

Gambar 38 Tampilan File Rencana Perbaikan Lahan Kritis

2.3.2.3 Lahan Agak Kritis

Gambar 39 akan tampil jika pilihan LAHAN AGAK KRITIS pada Gambar 36 di-klik. Pada tampilan tersebut menunjukkan informasi tentang petak lahan yang kondisinya tergolong agak kritis dan berlokasi di desa mana, serta dengan jenis penggunaan lahan apa.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
7292	7292 SRIMULYO	696519	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7293	7293 SRIMULYO	698619	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7294	7294 SRIMULYO	697719	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7295	7295 SRIMULYO	699219	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7296	7296 KEPATIHAN	699719	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7297	7297 KEPATIHAN	699819	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7298	7298 KEPATIHAN	699919	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7299	7299 KEPATIHAN	700019	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7300	7300 KEPATIHAN	700119	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7301	7301 KEPATIHAN	700219	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7302	7302 KEPATIHAN	700319	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7303	7303 KEPATIHAN	700419	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7304	7304 KEPATIHAN	700519	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7305	7305 KEPATIHAN	700619	9108267	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7306	7306 SRIMULYO	696119	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7307	7307 SRIMULYO	696219	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7308	7308 SRIMULYO	696319	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7309	7309 SRIMULYO	696419	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7310	7310 SRIMULYO	696519	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7311	7311 SRIMULYO	696619	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7312	7312 SRIMULYO	696719	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7313	7313 SRIMULYO	696819	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7314	7314 SRIMULYO	697219	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7315	7315 SRIMULYO	699519	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				
7316	7316 SRIMULYO	699619	9108367	TEGALAN	KEBUN_SEJENIS				

Gambar 39 Tampilan File Rencana Perbaikan Lahan Agak Kritis

2.3.2.4 Rencana Penggunaan Lahan

Pilihan RENCANA PENGGUNAAN LAHAN pada Gambar 36 merupakan sarana untuk melihat hasil rencana penggunaan lahan, dalam format ASCII (Gambar 40).

	A	B	C	D	E
1500	0	0	0	0	0
1501	0	0	0	0	0
1502	0	0	0	0	0
1503	0	0	0	0	0
1504	0	0	0	0	0
1505	0	0	0	0	0
1506	0	0	0	0	0
1507	0	0	0	0	0
1508	0	0	0	0	0
1509	0	0	0	0	0
1510	0	0	0	0	0
1511	0	0	0	0	0
1512	0	0	0	0	0
1513	0	0	0	0	0
1514	0	0	0	0	0
1515	0	0	0	0	0
1516	0	0	0	0	0
1517	0	0	0	0	0
1518	0	0	0	0	0
1519	0	0	0	0	0
1520	0	0	0	0	0
1521	0	0	0	0	0
1522	0	0	0	0	0
1523	0	0	0	0	0
1524	0	0	0	0	0
1525	0	0	0	0	0
1526	0	0	0	0	0
1527	0	0	0	0	0
1528	0	0	0	0	0
1529	0	0	0	0	0
1530	0	0	0	0	0
1531	0	0	0	0	0
1532	0	0	0	0	0
1533	0	0	0	0	0
1534	0	0	0	0	0
1535	0	0	0	0	0
1536	0	0	0	0	0
1537	0	0	0	0	0
1538	0	0	0	0	0
1539	0	0	0	0	0
1540	0	0	0	0	0
1541	0	0	0	0	0
1542	0	0	0	0	0
1543	0	0	0	0	0
1544	0	0	0	0	0
1545	0	0	0	0	0
1546	0	0	0	0	0
1547	0	0	0	0	0

Gambar 40 Tampilan File RENCANA PENGGUNAAN LAHAN

2.3.3 Debit Jam-jaman

Hasil hitungan debit jam-jaman disajikan pada file dengan tampilan pada Gambar 41, yang diperoleh dengan meng-klik pilihan DEBIT JAM-JAMAN pada Gambar 33.

Kolom A dan B pada tampilan Gambar 41 menginformasikan tanggal dan jam, sedangkan pada kolom C, D, dan E adalah: total debit, debit limpasan permukaan, dan debit air tanah yang terjadi pada titik tinjauan.

2.3.4 Debit Rerata Harian

Gambar 42 menyajikan hasil hitungan debit rerata harian selama setahun, yang dibuka dengan jalan memilih pilihan DEBIT RERATA HARIAN pada Gambar 33.

A1	B1	C1
1	12	0.77282
2	13	0.78673
3	14	0.78231
4	15	0.74725
5	16	0.74136
6	17	0.73655
7	18	0.72978
8	19	0.68662
9	20	0.68142
10	21	0.64795
11	22	0.64795
12	23	0.64795
13	24	0.64795
14	25	0.64795
15	26	0.64795
16	27	0.64795
17	28	0.64795
18	29	0.64795
19	30	0.64795
20	31	0.64795
21	1	0.64795
22	2	0.64795
23	3	0.64795
24	4	0.64795
25	5	0.64795
26	6	0.64795
27	7	0.64795
28	8	0.64795
29	9	0.64795
30	10	0.64795
31	11	0.64795
32	12	0.64795
33	13	0.64795
34	14	0.64795
35	15	0.64795
36	16	0.64795
37	17	0.64795
38	18	0.64795
39	19	0.64795
40	20	0.64795
41	21	0.64795
42	22	0.64795
43	23	0.64795
44	24	0.64795
45	25	0.64795
46	26	0.64795
47	27	0.64795
48	28	0.64795
49	29	0.64795
50	30	0.64795
51	31	0.64795

Gambar 41 Tampilan File Debit Jam-jaman

Tampilan Gambar 42, menunjukkan bahwa pada kolom A dan B menginformasikan bulan dan tanggal, sedangkan pada kolom C adalah besarnya debit rerata harian yang terjadi pada titik tinjauan.

A1	B1	C1
BULAN	TANGGAL	DEBIT RERATA HARIAN
1	1	0.77282
2	2	0.78673
3	3	0.78231
4	4	0.74725
5	5	0.74136
6	6	0.73655
7	7	0.72978
8	8	0.68662
9	9	0.68142
10	10	0.64795
11	11	0.64795
12	12	0.64795
13	13	0.64795
14	14	0.64795
15	15	0.64795
16	16	0.64795
17	17	0.64795
18	18	0.64795
19	19	0.64795
20	20	0.64795
21	21	0.64795
22	22	0.64795
23	23	0.64795
24	24	0.64795
25	25	0.64795
26	26	0.64795
27	27	0.64795
28	28	0.64795
29	29	0.64795
30	30	0.64795
31	31	0.64795
32	BULAN	TANGGAL
33	10	1.301495

Gambar 42 Tampilan File Debit Rerata Harian

BAB V

PENGUNAAN MODEL SIMULASI PENGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI LESTI BAGIAN I (Penyiapan Data Masukan)

I KAPASITAS INFILTRASI, BATAS KAPASITAS LAPANGAN, DAN TEKSTUR TANAH

Penggunaan nilai kapasitas infiltrasi, dan batas kapasitas lapangan dapat didasarkan pada informasi tekstur tanah yang diperoleh dari peta sistem lahan. Tingkat akurasi data-data tersebut dapat ditingkatkan dengan jalan melakukan pengukuran langsung pada beberapa titik contoh yang lokasinya dianggap mewakili seluruh varian tekstur tanah yang ada pada lokasi studi. Hasil pengukuran parameter fisik tanah, yang antara lain terdiri dari: kapasitas infiltrasi, batas kapasitas lapangan, dan tekstur tanah ditunjukkan pada Tabel 32, sedangkan hasil pengukuran kandungan c, dan bahan organik lainnya pada Tabel 33.

Tabel 32 Hasil Pengukuran Kapasitas Infiltrasi dan Tekstur Tanah

No	ID	K. Infil (mm/jam)	Persentase			KLAS	Penggunaan Lahan
			PASIR	DEBU	LIAT		
1	A	33,4	85	8	7	Pasir	Ladang (Tebu)
2	B	73	77	19	4	Pasir berlempung	Kebun Kopi (Sangat terawat)
3	C	15,4	53	38	9	Lempung 1	Kebun Campuran (tidak terawat)
4	D	19,71	56	43	1	Lempung berpasir	Ladang (Jagung)
5	E	54,2	52	38	10	Lempung 2	Hutan lebat
6	F	54,2	47	38	15	Lempung 3	Ladang (Kubis)
7	G	51,1	41	46	13	Lempung 4	Semak

Sumber: Hasil Survey dan Pengujian Laborat (Mei 2005)

Pada tanah dengan tekstur yang sama (Lempung), yaitu pada lokasi: C, E, F, dan G besarnya kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahan dan tingkat kepadatan tanahnya. Dimana tanah lempung I dengan jenis penggunaan lahan berupa kebun campuran dengan kondisi yang tidak terawat sehingga kondisi tanahnya jauh lebih padat mempunyai kapasitas infiltrasi yang jauh lebih rendah. Hal tersebut memperkuat hasil penelitian Pitt *et al.* (2001).

Tabel 33 Hasil Pengukuran Kadar Air, Kandungan C, dan Bahan Organik

No	ID	C (%)	ORG (%)	KADAR AIR (%)			Kondisi Tanah
				LAP	pF 2	pF4,2	
1	A	0,74	1,28	22,10	22,08	12,98	Sedang (Terawat)
2	B	0,93	1,61	22,07	21,51	10,08	Sangat gembur, (Sangat terawat)
3	C	0,43	0,75	32,56	33,54	20,48	Padat (tidak terawat)
4	D	0,74	1,28	20,01	26,00	13,37	Ladang (Jagung)
5	E	2,94	5,08	59,23	45,20	23,58	Gembur (Alami)
6	F	1,05	1,82	28,83	32,81	25,84	Gembur (Terawat)
7	G	1,87	3,24	25,32	31,72	18,12	Gembur (Alami)

Sumber: Hasil Survey dan Pengujian Laborat (Mei 2005)

Dalam tinjauan tekstur tanah Rawls *et al.* (1982) menyatakan bahwa tanah yang bertekstur semakin kasar memiliki kapasitas infiltrasi yang semakin tinggi. Kecenderungan tersebut didapat juga dari hasil pengamatan dalam penelitian ini (Tabel 33).

Besarnya nilai pF 4,2 pada tanah dengan ID: A, B, F, dan G tidak sebanding dengan urutan persentase kandungan butiran pasir, dan debu, akan tetapi sebanding dengan persentase liat. Kerancuan tersebut terjawab setelah dilakukan analisa sebaran persentase butiran (Lampiran 13), dimana besarnya nilai pF sebanding dengan total luas selimut butiran partikel tanah.

2 PERMUKAAN AIR TANAH

Hasil pengukuran elevasi permukaan air tanah yang dilakukan dengan pengukuran sumur penduduk, permukaan muka air di sungai, dan Geolistrik disajikan dalam Tabel 34.

Pengukuran elevasi permukaan air tanah pada lokasi yang tidak terdapat sumur penduduk dilakukan dengan pendugaan geolistrik.


Tabel 34. Elevasi Permukaan Air Tanah Saat Musim Kemarau

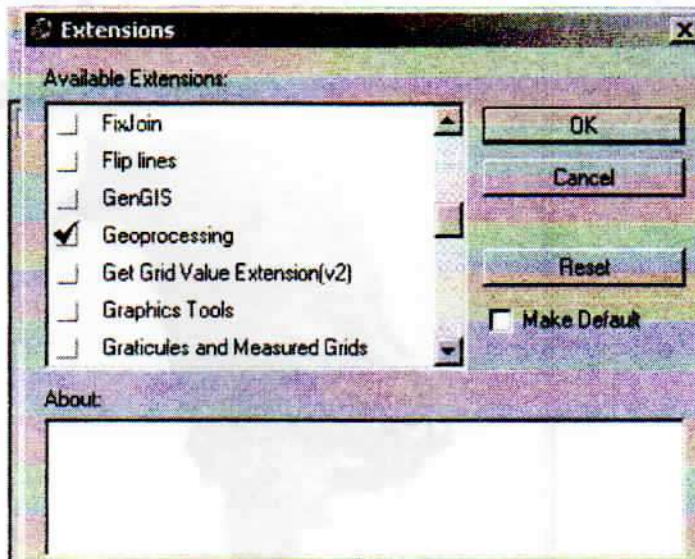
NO	KOORDINAT		EL. GWL	NO	KOORDINAT		EL. GWL
	X	Y			X	Y	
1	688613	9094694	380,60	41	697562	9091354	525,60
2	693676	9097249	486,00	42	697580	9091705	468,00
3	695851	9097124	580,00	43	696731	9090759	475,00
4	692310	9094489	420,00	44	695682	9090921	450,60
5	689314	9093614	367,00	45	688591	9094708	512,00
6	688539	9094084	369,00	46	699697	9091190	547,00
7	688072	9094481	369,75	47	762684	9092969	697,50
8	691782	9092402	394,60	48	687813	9091029	376,40
9	694519	9091148	435,50	49	689243	9090257	359,20
10	695557	9090496	422,80	50	693892	9088668	435,60
11	698459	9090123	506,80	51	688591	9094708	381,00
12	695895	9090394	450,00	52	693373	9097439	445,00
13	695424	9089743	437,00	53	688591	9094708	425,00
14	694496	9090007	394,90	54	689605	9096299	410,40
15	693886	9090958	440,00	55	688591	9094708	380,60
16	694237	9089871	382,00	56	688600	9092200	363,00
17	694310	9089792	390,20	57	688580	9087000	371,00
18	694437	9088744	405,00	58	690750	9087270	389,00
19	694451	9088783	444,00	59	692000	9091450	423,00
20	693232	9088795	429,00	60	690500	9093010	381,00
21	693228	9088988	434,80	61	690750	9096300	420,00
22	693319	9089657	376,50	62	689500	9094000	398,00
23	693199	9089953	415,00	63	690010	9089800	428,00
24	692690	9090875	412,30	64	691300	9091250	466,00
25	691978	9090471	405,00	65	694170	9093100	428,00
26	691081	9091238	419,80	66	697030	9093800	513,00
27	690374	9090136	403,00	67	702400	9089000	547,00
28	688946	9090214	344,30	68	704340	9091100	620,00
29	687848	9091631	346,50	69	706000	9094300	560,00
30	687186	9092080	353,70	70	700000	9094500	570,00
31	701331	9090113	570,00	71	705800	9090300	563,00
32	703536	9092717	657,00	72	701000	9093250	610,00
33	703211	9092808	638,00	73	690600	9098450	720,00
34	702665	9093023	679,00	74	694000	9099600	477,50
35	701889	9093207	687,00	75	694000	9104000	593,00
36	701334	9092523	630,00	76	694500	9108000	631,00
37	700895	9091608	619,00	77	694600	9109000	642,00
38	699168	9091079	502,00	78	691000	9110750	800,00
39	697560	9090954	448,70	79	670080	9104000	904,00
40	697515	9091098	481,00	80	697000	9085700	542,00

Sumber: Hasil Survey (September 2004)

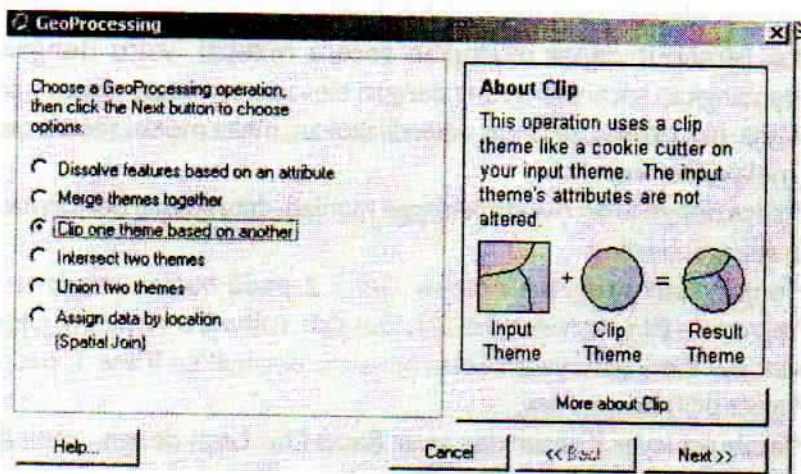
Akurasi dan kerapatan titik informasi elevasi permukaan air tanah sangat berpengaruh terhadap hasil pemetaan elevasi permukaan air tanah. Dengan Sub DAS seluas 38.240 ha dan jumlah titik pengamatan sebanyak 80 buah, serta topografi yang berbukit setelah dibuat peta kontur dan diubah ke dalam format raster ternyata terdapat beberapa titik yang perlu dikoreksi karena mempunyai elevasi yang justru lebih besar dari elevasi topografi. Proses koreksi tersebut dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan jalan membandingkan secara langsung dengan elevasi permukaan lahan pada titik yang sama. Jika proses tersebut tidak dilakukan, maka model secara otomatis akan melakukan koreksi.

Proses pengolahan data titik hingga menjadi data spasial berformat ASCII adalah sebagai berikut:

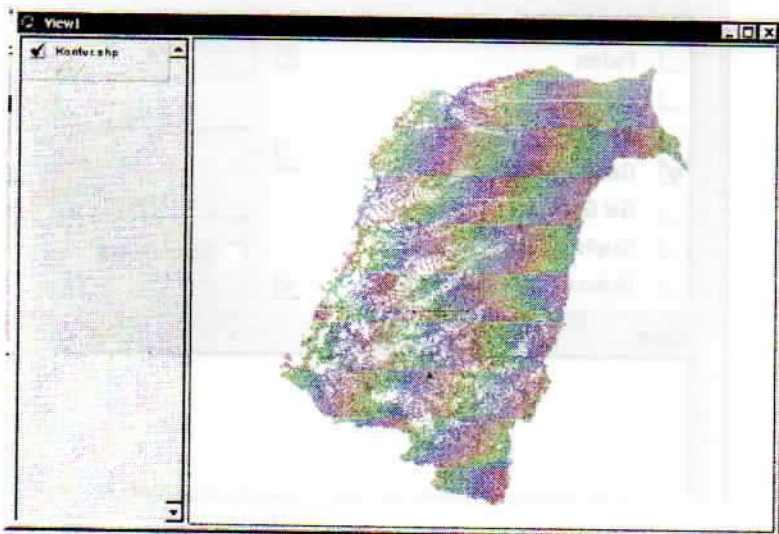
- A. Menjalankan program Arcview GIS 3.2 pada *button windows Start-Programs -Esri-Arcview GIS 3.2*. Setelah software Arcview siap, buat window View baru yang secara otomatis dinamakan **View 1**, pada kotak *Project* pilih buton *New*.
- B. Membuka *layer* Kontur dan *layer* Batas Das Lesti dengan memilih tool *Add Theme* 
- C. Setelah kedua *layer* ter-*display*, mengaktifkan *extension Geoprocessing* dengan memilih menu *File - Extensions*, kemudian pada kotak dialog tandai *Geoprocessing*.



- D. Melakukan *cropping* Garis Kontur dengan Batas Das Lesti dengan memilih menu **View – Geoprocessing Wizard**, sehingga akan muncul kotak dialog *Geoprocessing Wizard*.
- E. Memilih menu **Clip one theme based on another** pada kotak dialog *Geoprocessing*.

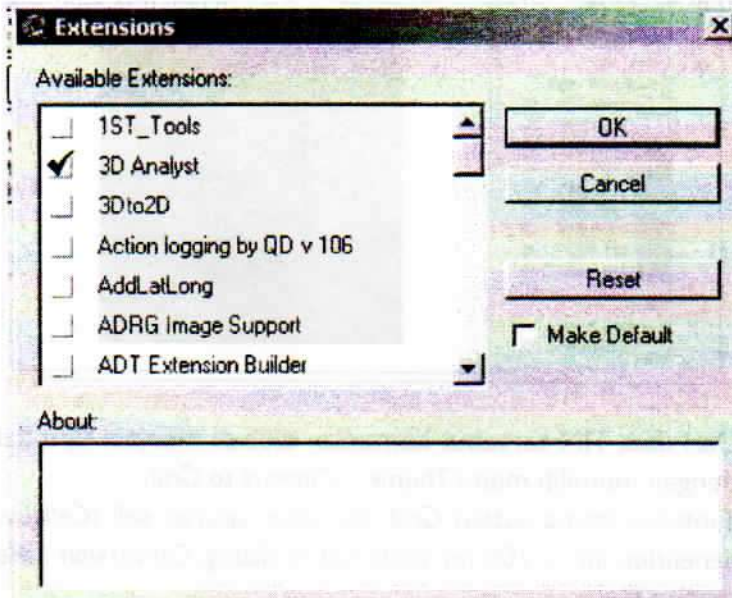


- F. Mengikuti langkah-langkah yang ada pada *wizard* tersebut meliputi penentuan *layer* yang hendak di-*crop*, *layer* peng-*crop*-nya, dan nama *layer* output hasil operasi tersebut.
- G. Menampilkan *layer* kontur baru yang telah ter-*cropping* oleh batas DAS Lesti.

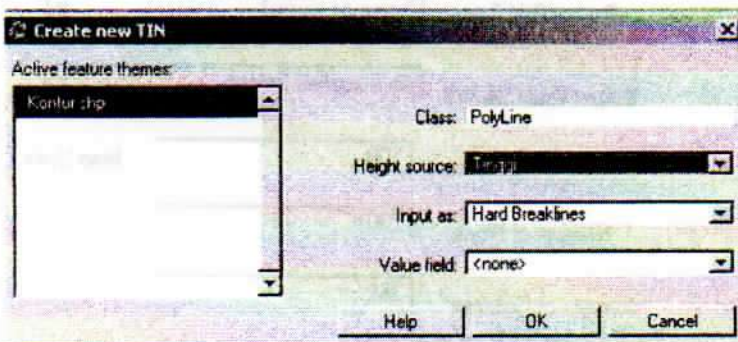


H. Merubah *Layer Kontur* menjadi *format TIN* dan *Grid*

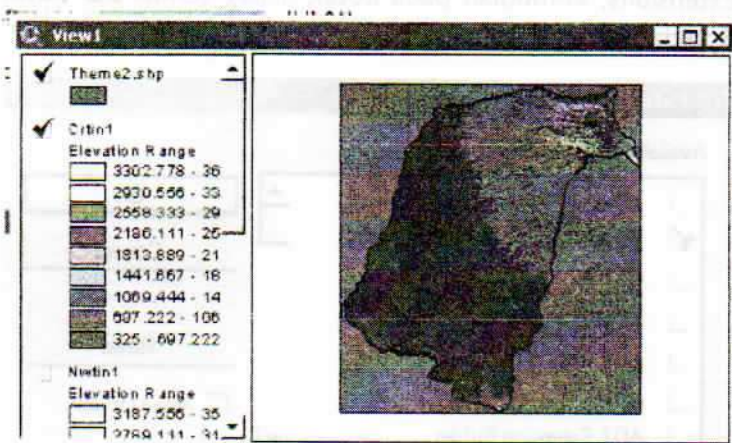
- Menambah extensions yang aktif dengan memilih menu *File – Extensions*, kemudian pada kotak dialog tandai **3D Analyst** dan **Spatial Analyst** tekan **OK**.



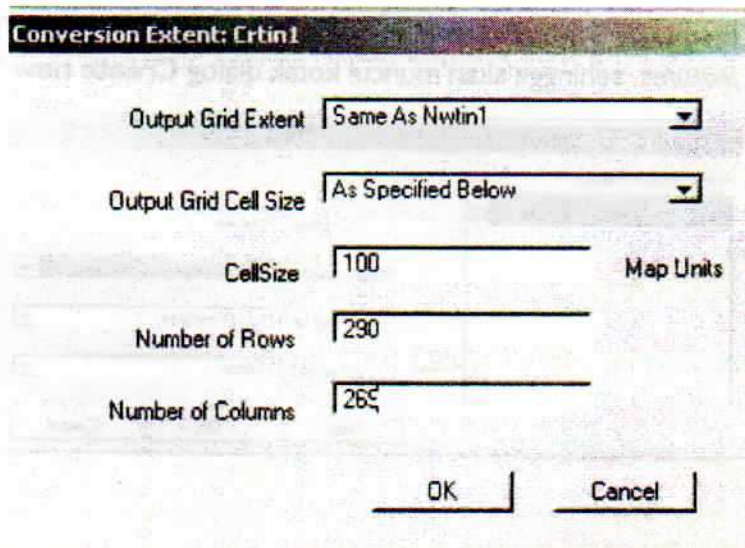
- Membuat TIN dengan memilih menu *Surface – Create TIN from features*, sehingga akan muncul kotak dialog **Create new TIN**.



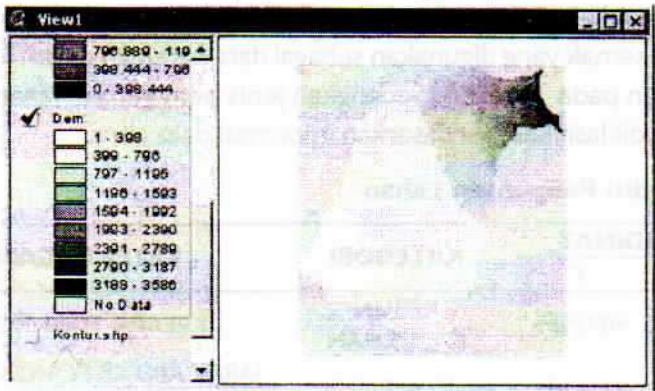
- Mengisi kolom *Height source* dengan memilih *field Tinggi*, kemudian tentukan nama *output* dan tampilkan *layer* hasil operasi tersebut.



- Dari data TIN tersebut kemudian diubah menjadi tipe data Grid, dengan memilih menu *Theme - Convert to Grid*.
- Tentukan nama *output Grid*, dan atur ukuran sell (*Cellsize*, dalam penelitian ini = 100 m) pada kotak dialog *Conversion Extent*, dan tekan *OK*.

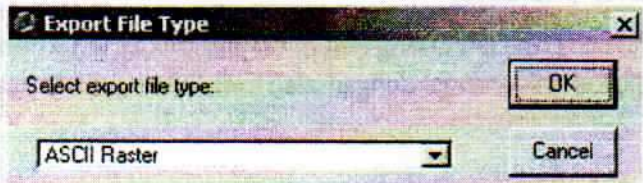


- Maka akan ter-display Grid Ketinggian pada Window View.



I. Merubah Grid Ketinggian menjadi data ASCII

- Ketinggian dengan memilih menu **File – Export Data Source**
- Kemudian akan muncul kotak dialog **Export File type**, pilih **ASCII Raster**, tentukan *file Grid* yang hendak di-eksport dan tentukan pula nama *output*-nya.



- *Output file* tersebut bertipe. Asc, buka dan cek isinya dengan program wordpad.



3 JENIS DAN KONDISI PENGGUNAAN LAHAN

Hasil pengecekan kondisi penggunaan lahan jenis hutan, tegalan, kebun campuran, dan semak yang digunakan sebagai data panduan dalam klasifikasi citra ditampilkan pada Tabel 35. Sedangkan jenis penggunaan lahan lainnya dapat langsung diklasifikasi berdasarkan informasi data citra.

Tabel 35. Kondisi Penggunaan Lahan

NO	KOORDINAT		KATEGORI	KETERANGAN
	X	Y		
1	691239	9092989	KEBUN CAMPURAN	KELAPA DAN KOPI
2	705134	9114194	HUTAN PARSIAL	JARAK ANTAR POHON = 8 M (Gambar 30)
3	706497	9115512	HUTAN ASLI	
4	705286	9114320	HUTAN JARANG	JARAK ANTAR POHON = 18 M
5	705436	9114300	HUTAN LEBAT	JARAK ANTAR POHON = 4 M
6	608621	9094857	TEGALAN	
7	689809	9096436	SEMAK	

Sumber: Hasil Survey (Mei 2005)

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



(Lokasi: 705134,9114194; Waktu: Mei 2005)

Gambar 30. Kondisi Penggunaan Lahan Hutan Parsial

Untuk pengolahan Citra Satelit digunakan perangkat lunak *ER Mapper*, sedangkan proses analisa spasialnya digunakan perangkat lunak *Arcview*. Tahapan pengolahan Cita Satelit *Landsat* tersebut adalah sebagai berikut :

A. Import dan Pembacaan Data

Di dalam tahap awal pengolahan citra satelit ini dilakukan proses *importing data*, yaitu merubah semua format data baik dalam bentuk data vektor ataupun raster menjadi format *ER Mapper*. Untuk format data yang digunakan adalah sebagai berikut:

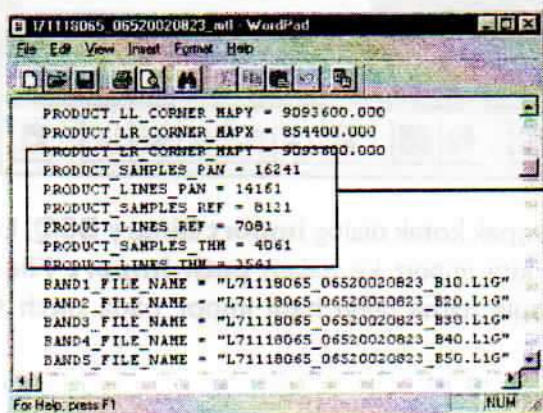
- a. Data Citra *Landsat ETM7* dalam bentuk raster yakni file dalam format *.HDF,
- b. Data Citra *Landsat TM5* dalam bentuk raster yang telah mempunyai format *ER Mapper* (*.Ers).
- c. Data vektor jalan, sungai dan batas daerah penelitian dalam format file *.dxf, yang akan digunakan dalam proses koreksi geometri dan pemotongan citra.

Masing-masing data tersebut akan dimasukkan melalui langkah-langkah *Import* / pemasukan data dengan langkah sebagai berikut:

A.1. Importing Data Citra Landsat ETM 7 perekaman tahun 2002

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk *Import*/pemasukan data awal berupa citra *Landsat ETM 7* adalah sebagai berikut:

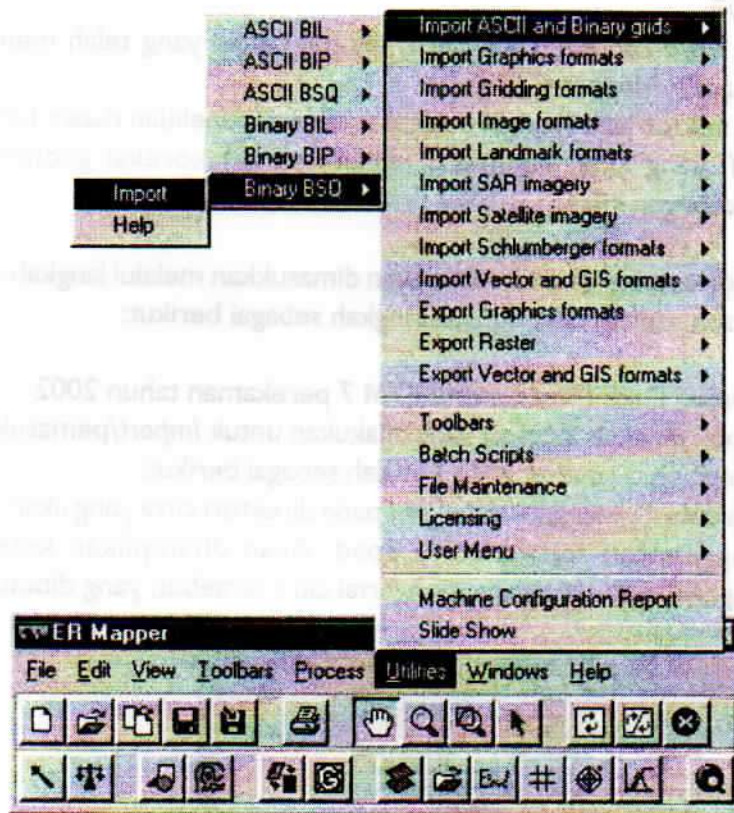
- Buka dulu file dengan kode *_mtl* pada direktori citra yang akan diimpor menggunakan *software Wordpad*. Akan ditampilkan keterangan mengenai data-data yang menyertai citra tersebut, yang dibutuhkan di



Jumlah baris dan kolom pixel citra

sini adalah informasi mengenai jumlah baris dan kolom *pixel* yang membangun citra tersebut.

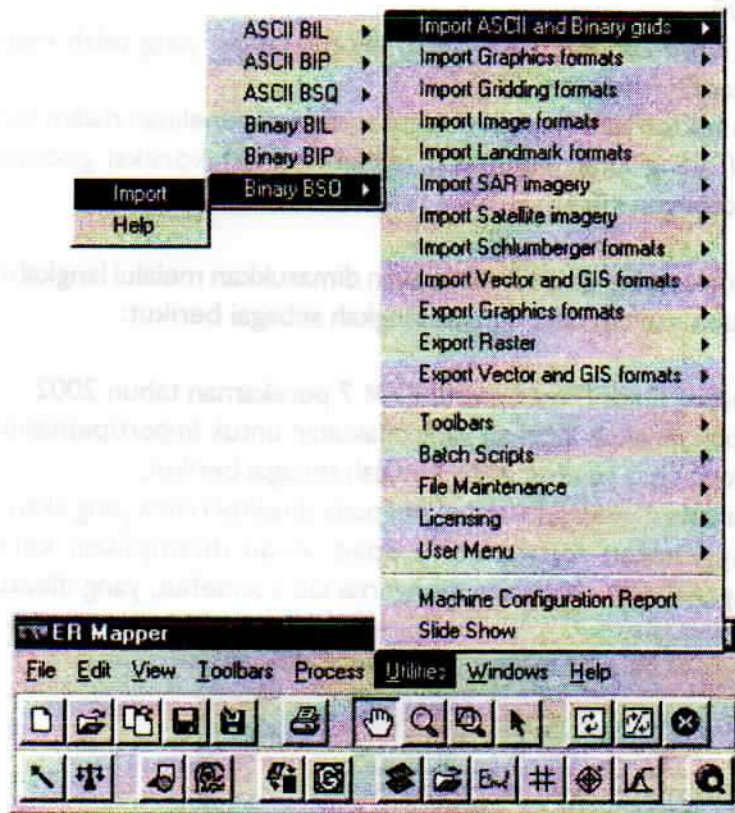
- Dari keterangan di atas dapat diketahui bahwa :
Band 8, lebar *pixel*-nya 16241 dan tinggi *pixel*-nya 14161.
Band 1,2,3,4,5,dan 7 lebar *pixel*-nya 8121 dan tinggi *pixel*-nya 7081.
Band 6.1 dan 6.2 lebar *pixel*-nya 4061 dan tinggi *pixel*-nya 3541.
- Kemudian dilanjutkan dengan proses *import* dalam *ER Mapper software*, pilih menu **Utilities** pilih sub menu **Import ASCII and Binary Grids**, pilih **Binary BSQ** < dan pilih **Import**



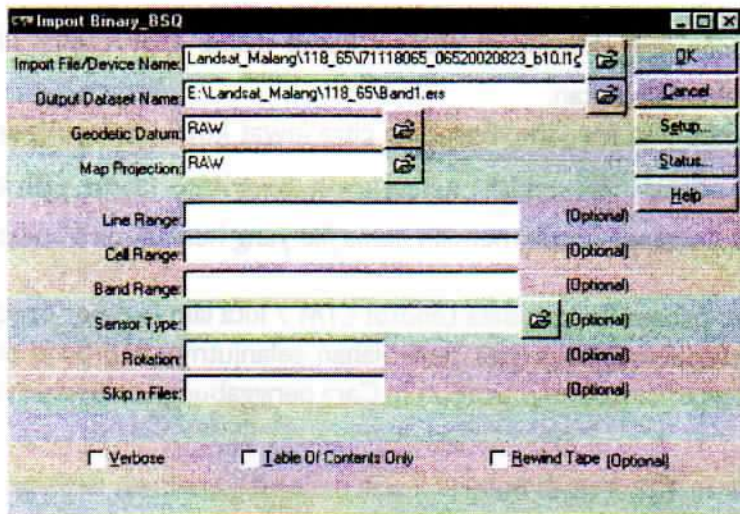
- Selanjutnya akan nampak kotak dialog **Import Binary BSQ**, kita isikan band yang hendak kita *import* ke dalam **path Import File/Device Name**, tentukan pula nama *band* hasil impor pada **path Output Dataset Name**.

sini adalah informasi mengenai jumlah baris dan kolom *pixel* yang membangun citra tersebut.

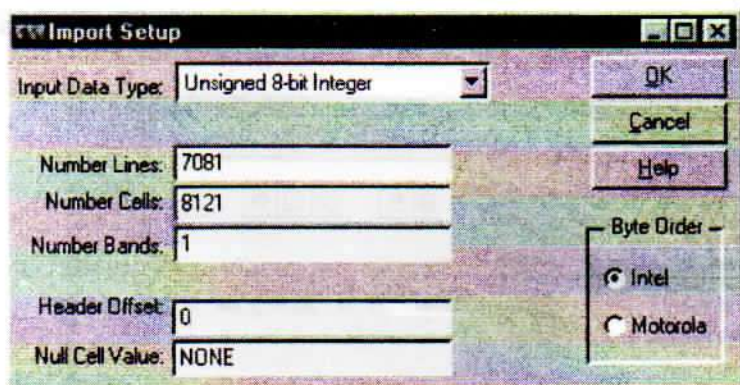
- Dari keterangan di atas dapat diketahui bahwa :
Band 8, lebar *pixel*-nya 16241 dan tinggi *pixel*-nya 14161.
Band 1,2,3,4,5,dan 7 lebar *pixel*-nya 8121 dan tinggi *pixel*-nya 7081.
Band 6.1 dan 6.2 lebar *pixel*-nya 4061 dan tinggi *pixel*-nya 3541.
- Kemudian dilanjutkan dengan proses *import* dalam *ER Mapper software*, pilih menu **Utilities** pilih sub menu **Import ASCII and Binary Grids**, pilih **Binary BSQ** < dan pilih **Import**



- Selanjutnya akan nampak kotak dialog **Import Binary BSQ**, kita isikan band yang hendak kita *import* ke dalam **path Import File/Device Name**, tentukan pula nama *band* hasil impor pada **path Output Dataset Name**.






- Pilih **button setup**, sehingga akan muncul kotak dialog **Import Setup**, isikan tinggi *pixel band* pada kolom **Number Lines**, dan isikan lebar *pixel band* pada kolom **Number Cell**, dan untuk kolom **Number Band** diisikan angka *1* karena kita melakukan *import* data satu persatu *band*.





- Demikian seterusnya sampai semua band ter-*import*, yang perlu diingat untuk band 6 dan band 8 jumlah lebar dan tinggi *pixel* yang diisikan dibedakan.

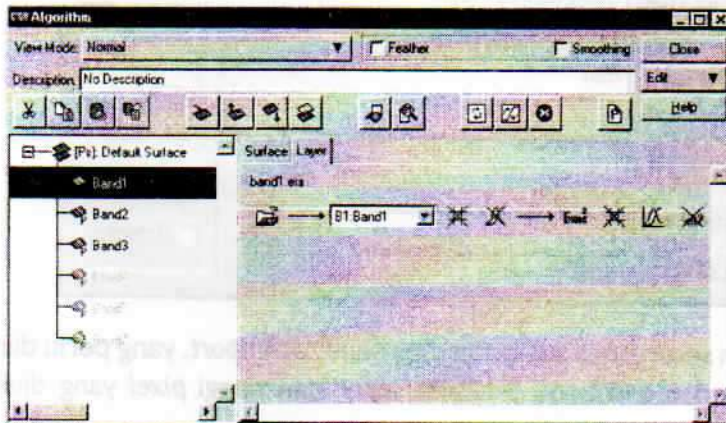
A.2. Menampilkan Data Raster


Sekarang dapat ditampilkan data raster hasil *import* menggunakan *ER Mapper*, adapun cara menampilkannya adalah sebagai berikut:

- Pilih icon , kemudian muncul kotak dialog **Open**, pilih *file* yang hendak ditampilkan.
- Atau kita bisa menampilkan data citra lewat kotak *dialog Algorithms*, yaitu pilih icon  setelah muncul kotak *dialog Algorithms*, pilih icon  **Load Dataset** untuk memilih nama *file* yang hendak ditampilkan.

Dalam proses import data *Landsat ETM 7* kita lakukan per *band*, maka untuk mempermudah proses pengolahan selanjutnya tiap *band* tersebut harus dijadikan satu *dataset* yang utuh. Cara penggabungannya adalah sebagai berikut:



- Pilih icon  setelah muncul kotak *dialog Algorithms*, arahkan kursor ke **layer pseudocolor**, kemudian buat duplikat *layer* tersebut sebanyak enam *layer* menggunakan icon .
- Ganti nama tiap *layer pseudocolor* menjadi *Band1, Band2,* dan seterusnya, isikan pula tiap *layer Band* tersebut sesuai dengan *Band* yang ada.
- Simpan susunan dari *band-band* tersebut menjadi satu *dataset*, pilih icon



Save As , dan tentukan nama serta letak file akan disimpan, selain itu ubah juga ukuran lebar dan tinggi *pixel* menjadi 30 sesuai dengan resolusi band tersebut yaitu 30 meter.

1. Color Composite Citra Landsat

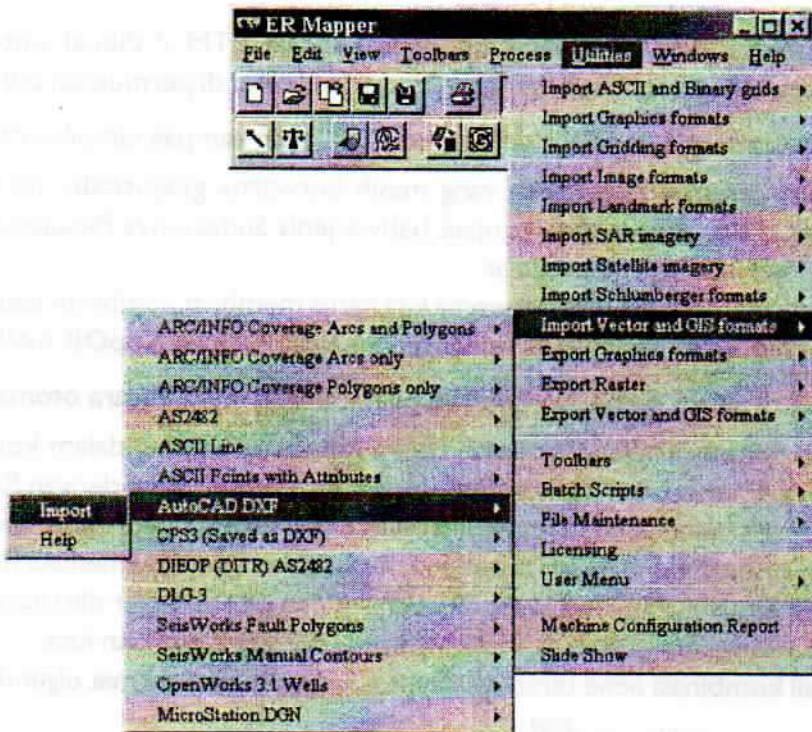
Kombinasi dari *band* yang ada pada Landsat ETM 7 dibuat untuk membantu mengidentifikasi dan interpretasi *land cover* di permukaan bumi.

- Buka Citra Landsat ETM 7 dengan icon , akan nampak tampilan citra dalam **window algorithm** yang masih berwarna **grey-scale**, dalam kotak dialog **Algorithm** tampak bahwa jenis *Surface*-nya *Pseudocolor* dan *layer*-nya juga *Pseudocolor*.
- Untuk membuat kombinasi warna kita harus membuat kombinasi dalam *layer red, green* dan *blue* yaitu dengan mengaktifkan kelompok **OK toolbar Forestry** dalam menu *Toolbar*, lalu pilih icon  maka secara otomatis akan tampil citra landsat sudah dalam kombinasi warna, dalam kotak dialog *Algorithm* terlihat jenis *Surface*-nya **Red Green Blue** dengan **Red layer** diisi *band 3*, **Blue layer** diisi *band 2*, dan **Green layer** diisi *band 1*.
- Dari susunan *Band* di atas dapat diubah-ubah kombinasinya menjadi **Red layer** diisi *band 5*, **Blue layer** diisi *band 4*, dan **Green layer** diisi *band 2* serta kombinasi-kombinasi lainnya sesuai dengan keperluan kita.
- Hasil kombinasi *band* tersebut dapat disimpan dalam format *algorithm* dengan memilih icon 

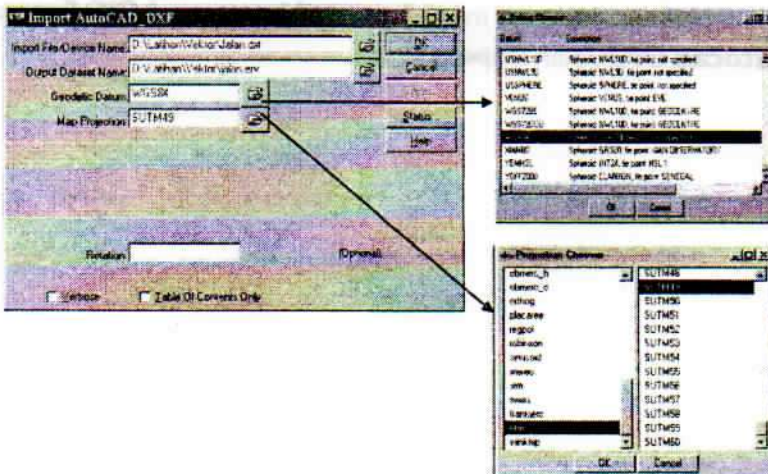
2. Import Data vektor

Data vektor disini adalah data spasial garis sungai dan jalan format *.dxf yang akan digunakan untuk koreksi geometri. Adapun langkah-langkah import data vektor dijelaskan sebagai berikut :

- Pilih menu *Utilities*, pilih sub menu **Import Vector and GIS Format**, pilih **Autocad DXF**, pilih **Import**




- Akan muncul kotak dialog **Import Autocad DXF**, isikan file yang akan diimport pada kolom **Import File/Device Name**, dan isikan nama file hasil pada kolom **Output Dataset Name**. Setelah itu pilih **Geodetic Datum** serta **Map Projection** sesuai dengan daerah studi.

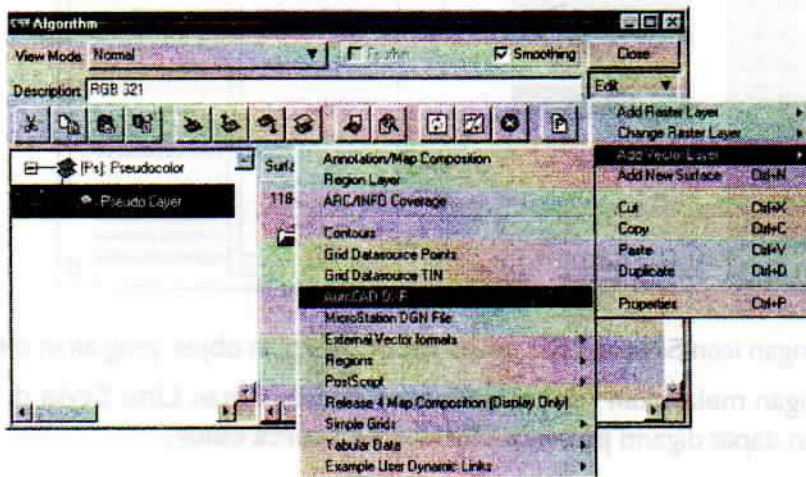






3. Menampilkan Data Vektor

Data vektor dapat ditampilkan secara interaktif tanpa merubah format asli data atau data tersebut dirubah dulu menjadi *format vector ER Mapper* (*.Erv).

Data yang dapat ditampilkan secara langsung di sini dalam format *Autocad* (dxf) dan *Arcinfo*, dengan langkah sebagai berikut :

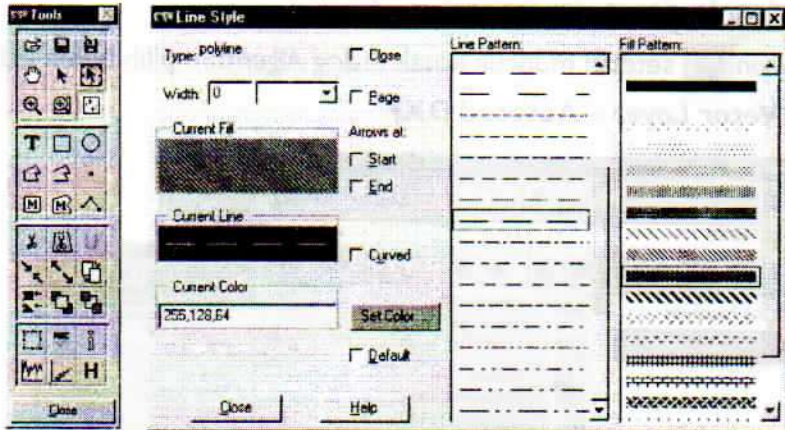
- Pilih icon  setelah muncul kotak dialog *Algorithm* pilih buton **Edit - Add Vector Layer – Autocad DXF**




- Akan muncul *layer DXF Link*, pilih *file* yang akan ditampilkan lewat icon  **Dynamic Link Chooser**.
- Untuk data dengan format *vector ER Mapper* (.Erv) dapat ditampilkan sebagai berikut :
 1. Pilih icon , setelah muncul kotak dialog *Open* maka pilih **files of type menjadi vector map (.Erv)** dan pilih nama *file* yang dikehendaki.
 2. Atau, menampilkan data *vector* dapat dilakukan dengan tahap.
 3. Pilih icon , setelah muncul kotak dialog *Algorithm* pilih buton **Edit-Add Vector Layer – Annotation/Map Composition**.
 4. Akan muncul *layer Annotation layer*, pilih *file* yang akan ditampilkan lewat icon  **Dynamic Link Chooser** .

Data vector yang sudah dalam format *ER Mapper (.Erv)* dapat dilakukan *editing* seperti mengganti warna, *pattern*, *type* dan lainnya. Adapun tahapannya sebagai berikut :

1. Pilih icon  pada kotak *Algorithms*, akan muncul *box toolbar Tools*.






2. Dengan icon **Select/edit point mode**  pilih objek yang akan diedit dengan melakukan “dobel klik”, akan muncul kotak **Line Style** di sini akan dapat diganti **pattern** , **fill pattern** serta **color**.



4. Koreksi Radiometrik dan Koreksi Geometrik

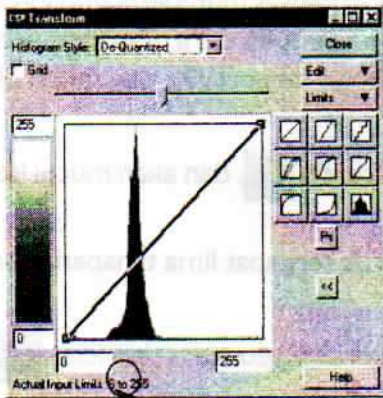
Karena adaya kesalahan yang disebabkan karena pengaruh atmosfer dan sensor yang ada pada setelit, maka harus dilakukan proses restorasi citra yang meliputi koreksi radiometrik dan koreksi geometri

Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik, dalam hal ini adalah menghilangkan *Haze* dengan cara membatasi nilai spektral yang terekam pada citra dalam tiap *Band* / salurannya. Adapun langkah-langkah yang dilakukan adalah :

- A. Buka Citra Landsat perekaman tahun 1997 dan perekaman tahun 2002 dengan icon 
- B. Pilih icon  setelah muncul kotak *dialog Algorithms*, arahkan krusor ke *layer pseudocolor*, kemudian buat duplikat *layer* tersebut sebanyak enam *layer* menggunakan icon 

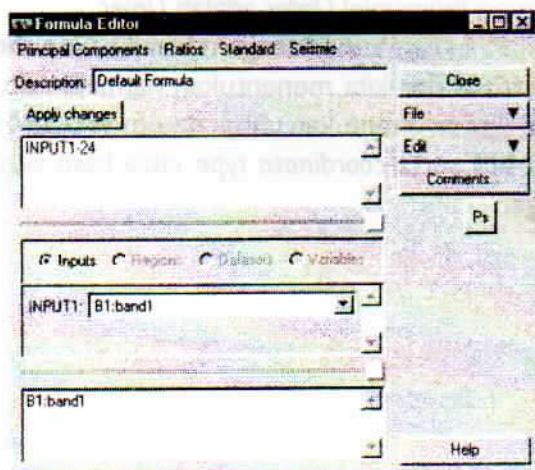
- C. Ganti nama tiap *layer pseudocolor* menjadi *Band1*, *Band2*, dan seterusnya, isikan pula tiap *layer Band* tersebut sesuai dengan *Band* yang ada.
- D. Pada kotak *dialog algoritma*, kemudian catatlah nilai spektral yang paling kecil dengan cara memilih tombol icon  pada tiap *band/saluran*, sehingga akan tampil grafik nilai spektralnya /*histogram*
- Lalu tekan tombol icon  pada masing-masing *band/saluran* sehingga akan tampil kotak dialog **Formula Editor** Dimana nilai *spektral* citra pada tiap *band /saluran* akan dikurangkan





Nilai spektral terkecil

dengan nilai spektral terkecilnya, maka disi rumus. $INPUT\ 1 - BV_{min}$

- Kemudian tekan tombol **Apply Change** untuk menjalankan perintah





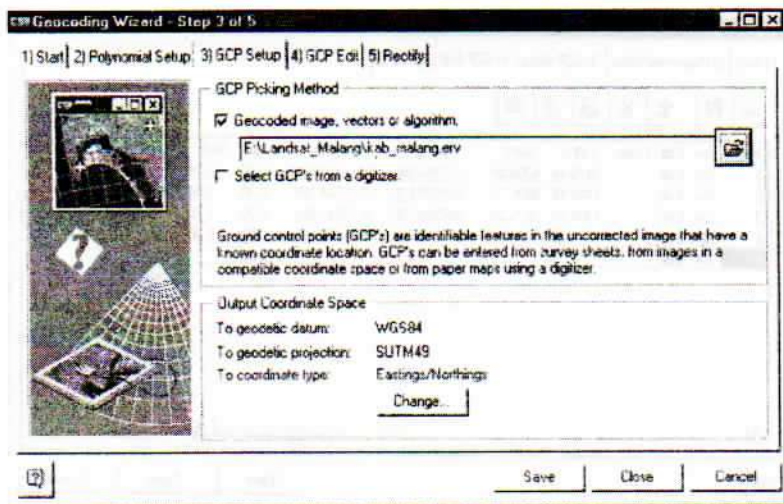
Formula tersebut sehingga tampilan citra di **window** akan berubah.




- Tekan tombol *Icon* **Refreh** , agar semua rumus betul-betul telah berjalan
- Simpan kembali *band-band* yang telah dilakukan koreksi *radiometric* tersebut menjadi satu *dataset*, pilih *icon* **Save As** , pilih **file of type** **Er Mapper Dataset (.Ers)** serta tentukan nama serta letak file akan disimpan.

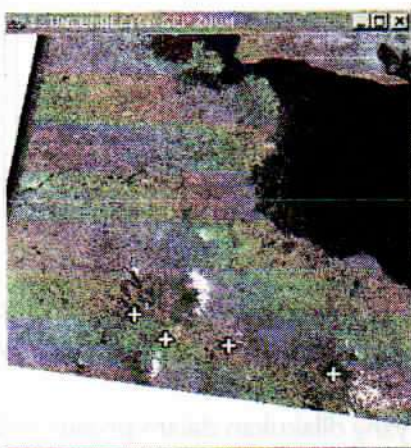
Koreksi Geometrik

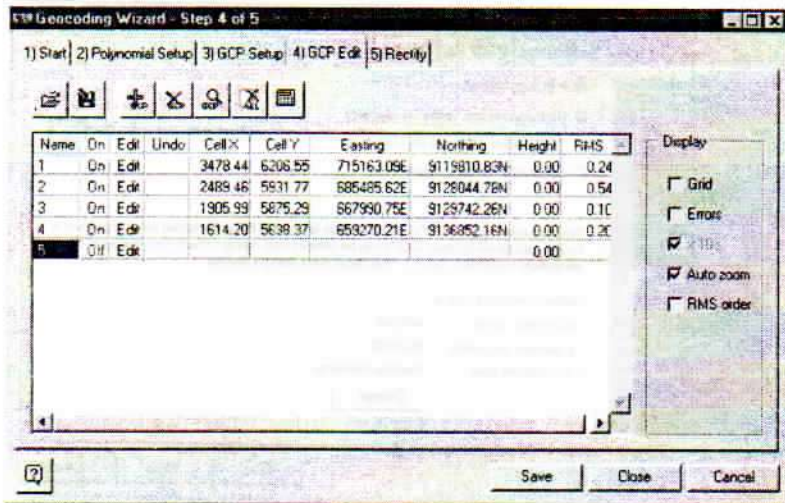
Koreksi Geometrik pada tahap ini adalah proses memberikan koordinat referensi geografis pada setiap *pixel* yang ada pada citra. Tahapan proses koreksi yang dilakukan pada citra perekaman tahun 1997 dan tahun 2005 adalah sebagai berikut:

- Pilih *icon* **Ortho and Geocoding Wizards** , dan akan muncul kotak dialog **Geocoding Wizards**.
- Pada kotak dialog **Geocoding Wizards** terdapat lima tahapan sebagai berikut:
 - Tahap pertama pilih file yang akan dikoreksi geometri dari *icon* , di sini nanti secara bergantian kita masukkan citra yang akan dikoreksi yaitu citra satelit perekaman tahun 1997 kemudian citra satelit perekaman tahun 2002. Dilanjutkan dengan menentukan *Geocoding Type* nya adalah *Polynomial*
 - Tahap ke-dua, tentukan *type Polynomial Order* adalah *Linier*
 - Tahap ke-tiga, tentukan *GCP Picking Method* dengan memilih **Geocoded image, vector or algorithm** dan kita menentukan nama *file* acuan, pada *Output Coordinate Space* ditentukan untuk datum **WGS84** dan *geodetic projection* **SUTM49** serta *coordinata type* citra hasil akhirnya ialah **Eastings/Northings**.

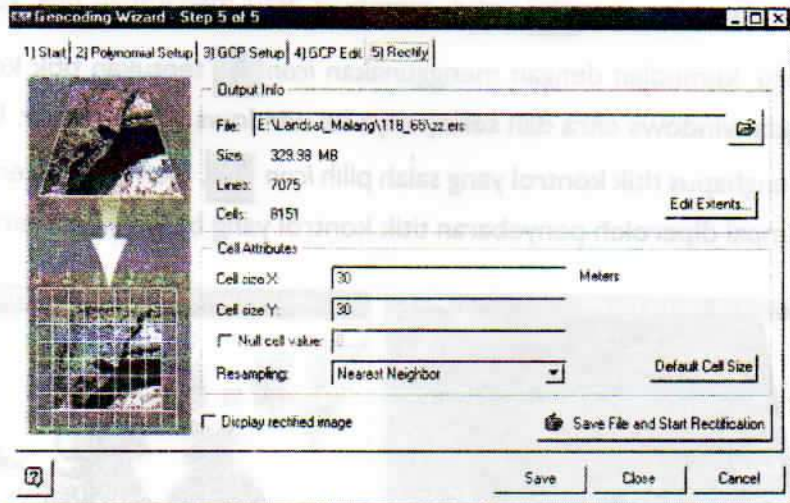


- Tahap ke-empat, menentukan titik kontrol yang merupakan titik sekutu yang sama pada citra dengan acuan vector misalnya belOKan sungai, titik perempatan jalan, perpotongan antara jalan dan sungai, dan lain-lain. Gunakan icon  untuk membuat atau menambah titik kontrol baru, kemudian dengan menggunakan icon  tentukan titik kontrol pada windows citra dan selanjutnya ke windows acuan vector. Untuk menghapus titik kontrol yang salah pilih icon . Demikian seterusnya sampai diperoleh penyebaran titik kontrol yang banyak dan merata.





- Tahap ke-lima, merupakan tahap rektifikasi, isikan file keluaran pada kolom file, isi juga cell size x dan y dengan nilai 30 meter, kemudian pilih buton *Save File and Start Rectification*



5. Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan untuk menghemat media penyimpanan; membatasi cakupan citra dalam suatu luasan yang sesuai dengan wilayah pengamatan.





Adapun urutan langkah-langkah yang dilakukan dalam proses ini adalah sebagai berikut :

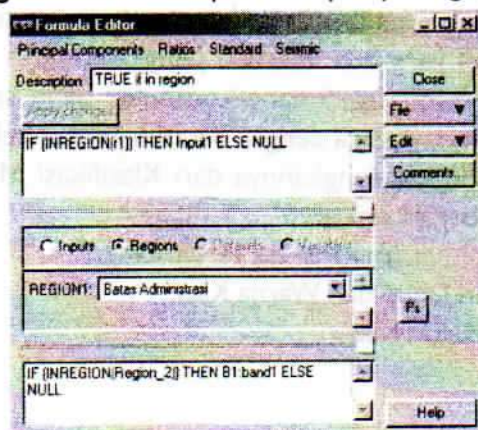
Vektor awal harus berformat ER Mapper (.Erv), kalau masih berformat lain harus dilakukan import seperti pada sub bab *Import Data Vektor*.


- Kemudian pilih Menu Process – Polygon«Region Conversion – Vector dataset polygons to Region.
- Kemudian akan tampil kotak dialog *Vector to Region Conversion*, lalu isikan *Input Vector Dataset* , serta *Output Region dataset* : Tekan tombol **OK**



Setelah data vektor telah masuk didalam dataset dalam bentuk *Region*, maka langkah selanjutnya adalah:

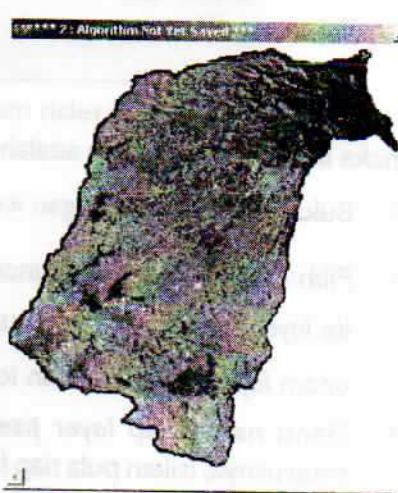
- Buka Citra Satelit dengan icon 
- Pilih icon  setelah muncul kotak *dialog Algorithms*, arahkan kursor ke *layer pseudocolor* , kemudian buat duplikat *layer* tersebut sebanyak enam *layer* menggunakan icon 
- Ganti nama tiap *layer pseudocolor* menjadi *Band1, Band2,* dan seterusnya, isikan pula tiap *layer Band* tersebut sesuai dengan *Band* yang ada
- Setelah itu pada *layer Pseudo* pertama (*Band 1*), tekan tombol *Edit Formula* atau dengan menekan tombol *Icon*  , kemudian akan tampil kotak dialog *Edit Formula* seperti tampak pada gambar berikut



- Pada kotak dialog *Edit Formula*, pilih menu bar **Standart – Inside region polygon test**, kemudian isikan tanda \checkmark pada baris *Region* dilanjutkan dengan menekan tombol pilih *Region Input* sehingga berisi *Region* sebagai garis batasnya.
- Lakukan juga terhadap *layer pseudo* lain dengan menekan tombol **Ps** kemudian tutup kembali kotak dialog *Edit Formula*
- Pilih icon **Save As** , pilih **file of type Er Mapper Dataset (.Ers)** serta tentukan nama serta letak *file* akan disimpan.



**Citra Satelit Landsat TM5 DAS
Lesti perekaman tahun 1997**



**Citra Satelit Landsat ETM7 DAS
Lesti perekaman tahun 2002**

6. Klasifikasi Multispektral

Klasifikasi bertujuan membuat kelas-kelas pada citra satelit berdasarkan nilai spektral tiap *pixel* yang ada. Metode pengkelasannya yaitu Klasifikasi Multispektral tak Terbimbing dimana komputer akan secara otomatis mengelaskan nilai spectral citra dengan batasan jumlah kelas.


Adapun urutan langkah-langkahnya dari Klasifikasi Multispektral tak Terbimbing adalah sebagai berikut:

- a. Proses Klasifikasi Multispektral Tak terbimbing.
- b. Proses Pemberian Label dan Warna Klas.
- c. Proses Editing Poligon Klas.

Masing-masing urutan langkah akan dijelaskan sebagai berikut :

Proses Klasifikasi Multispektral Tak terbimbing

Adapun pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan pada proses klasifikasi multispektral tak terbimbing ini antara lain :

- Buka Citra Satelit dengan icon 
- Buat Color Composite dengan kombinasi band 542 pada citra yang tampil.
- Sebelum dilakukan pekerjaan klasifikasi terlebih dahulu dilakukan perhitungan statistik dengan memilih menu bar **Process – Calculate Statistic...**
- Setelah itu baru dilakukan klasifikasi dengan memilih menu bar **Process– Classification–ISOCCLASS Unsupervised Classification ..** sehingga akan tampil kotak dialog *Unsupervised Classification*
- Pada kotak dialog *Unsupervised Classification*, masukkan file dataset yang dijadikan sebagai *input* dan *output* dalam proses klasifikasi tersebut.
- Isikan pula parameter-parameter lain yang ada pada kotak dialog *Unsupervised Classification*, antara lain:

Band to use :(**All** → Saluran yang dipakai)

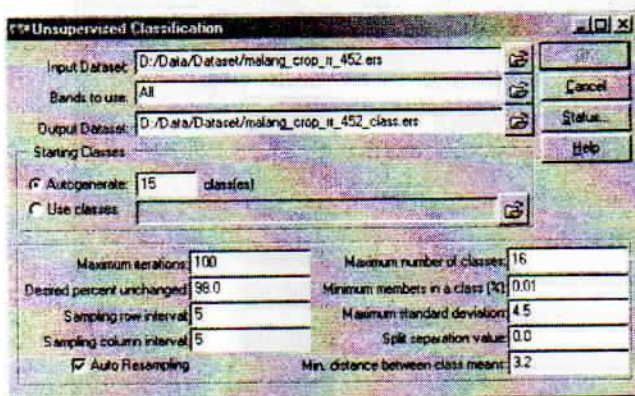
Autogenerate :(**15** → Jumlah kelas)

Maximum Iteration :(**100** → Batas perhitungan iterasi)

Sampling row interval :(**5** → Jumlah baris *window average*)

Sampling column interval :(**5** → Jumlah baris *window average*)



Maximum number of classes:(**16** → Batas jumlah kelas)

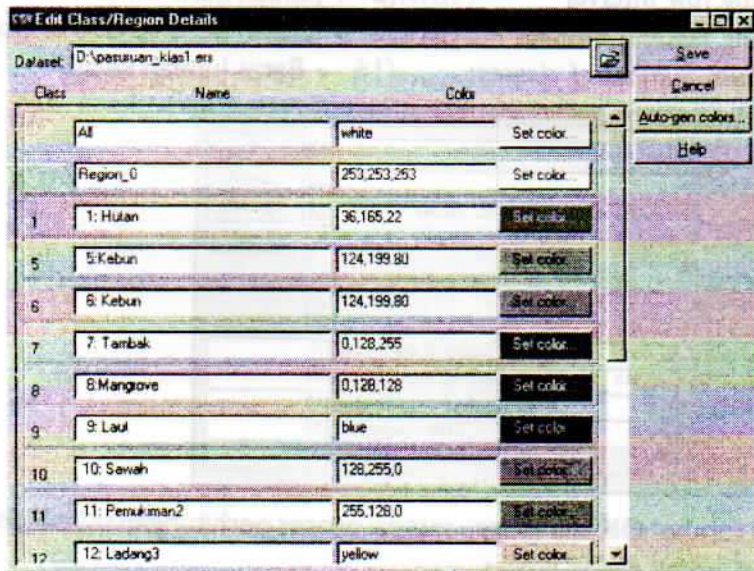


- Tekan tombol **OK** lalu tunggu sampai proses perhitungan selesai dengan melihat kotak dialog *Proses*.

Proses Pemberian Label dan Warna Kelas

Tahapan proses pemberian label dan warna kelas adalah sebagai berikut:

- Buka Citra Landsat ETM 7, kemudian buat citra komposit warna kombinasi *band 542*
- Tampilkan data citra lewat kotak dialog *Algorithms*, yaitu pilih icon 
- Setelah muncul kotak dialog *Algorithms* ganti *layer pseudocolor* dengan *layer class display*, pilih icon  **Load Dataset** untuk memilih nama *file* hasil klasifikasi.
- Kemudian mengatur kedua *window* agar antara keduanya saling berhubungan dengan cara klik kanan pada salah satu *window* lalu pilih **Quick zoom – Set Geolink to window**, lakukan pula langkah ini untuk *window* yang lain.
- Lakukan proses *editing* tampilan kelas dengan memilih *menu bar Edit – Edit Class/Region Color and Name*, sehingga akan tampil kotak dialog *Edit Class/Region Detail*.
- Pada kotak dialog *Edit Class/Region Detail* pilih **file dataset** hasil klasifikasi, lalu akan tampil barisan nama dan warna dari kelas-kelas yang sudah dibuat yang harus diedit ulang.
- Lakukan interpretasi nilai digital citra pada masing-masing kelas dengan melakukan *zooming/perbesaran* pada posisi kelas.




- Kemudian rubah/isikan nama dari kelas berdasarkan interpretasi yang sudah dilakukan, dengan memilih baris **Name** tiap kelasnya sehingga *pointer* berubah menjadi *pointer* untuk pengisian teks.
- Agar kenampakan warna pada masing-masing kelas terlihat perbedaan maka aturlah pewarnaannya dengan memilih tombol **Set Color...** lalu pilih warna yang sesuai.
- Setelah semua kelas sudah diberi nama, lakukan penyimpanan dengan menekan tombol **Save**.

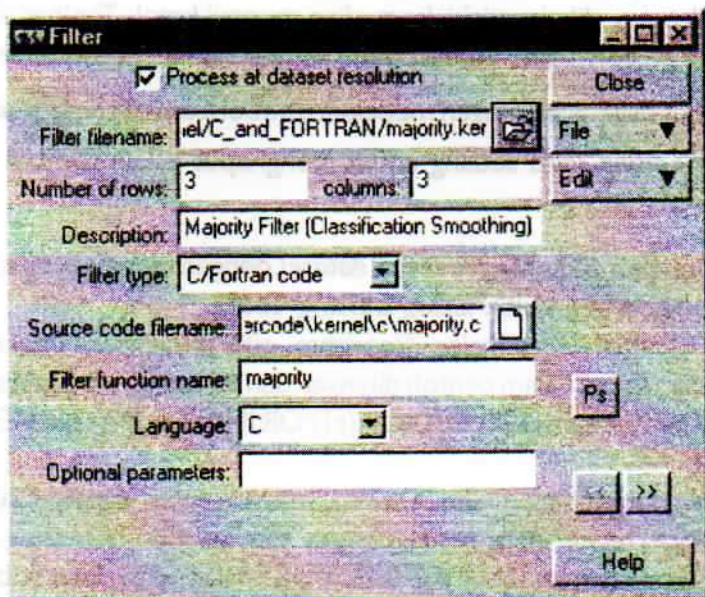
Proses Editing Poligon Klas

Citra hasil klasifikasi yang diperoleh kadang-kadang tidak sesuai dengan keinginan pemakainya, misalnya poligon *klas* yang dihasilkan terlalu kecil dan sangat banyak sehingga perlu dilakukan generalisasi.

Untuk itu metode yang dilakukan adalah dengan melakukan *Filtering* dan *editing* menggunakan *Formula* dari poligon baru yang dibuat dengan cara melakukan digitasi *on screen*.

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam proses ini adalah sebagai berikut :





- Tampilkan data citra lewat kotak *dialog Algorithms*, yaitu pilih icon  Setelah muncul kotak *dialog Algorithms* ganti *layer pseudocolor* dengan

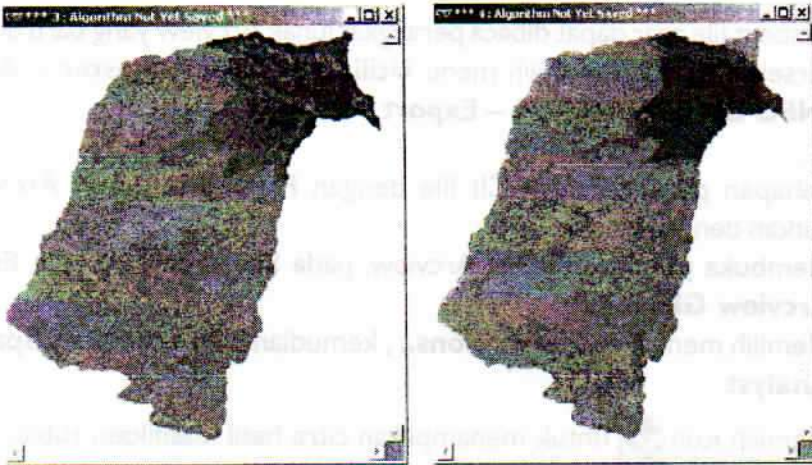


layer class display, pilih icon  **Load Dataset** untuk memilih nama file hasil klasifikasi.



- Lakukan proses *filtering* dengan menekan tombol icon **Edit Filter** pada kotak dialog Algoritma  sehingga akan tampil kotak dialog *Filter*.
- Pada kotak dialog tersebut isikan *Filter Filename* dengan jenis *filter* yang dipakai dalam proses *filtering* ini. Dalam hal ini *filter* yang digunakan adalah *filter Majority*

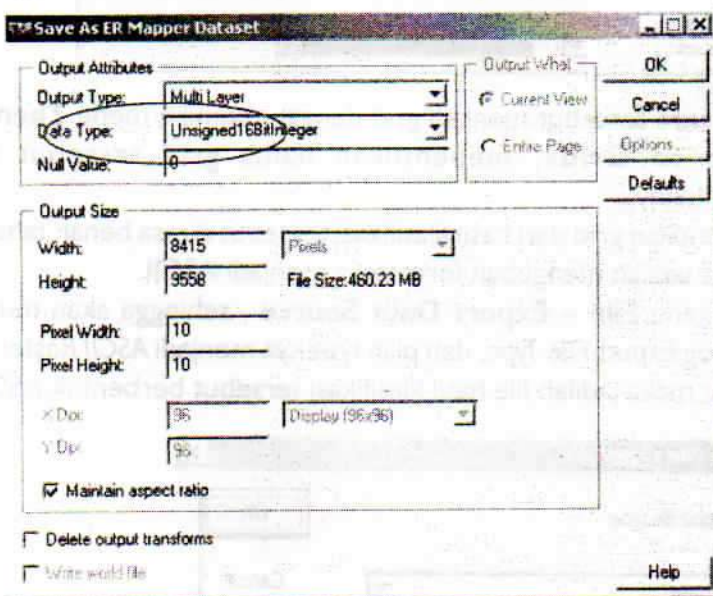
Terlihat kenampakan citra hasil klasifikasi yang telah difilter akan lebih baik, karena *pixel-pixel* kecil dari *klas* yang ada akan dihilangkan atau digabung. Langkah klasifikasi kembali berikutnya adalah dengan membuat *polygon klas* pada *klas klas* yang ingin kita gabung atau digeneralisasi, adapun langkahnya adalah sebagai berikut:

- Buka kembali citra hasil klasifikasi, tampilkan data citra lewat kotak dialog *Algorithms*, yaitu pilih icon , setelah muncul kotak dialog *Algorithms* ganti *layer pseudocolor* dengan *layer class display*, pilih icon  **Load Dataset** untuk memilih nama file.
- Pilih menu **Edit - Edit/Create Regions** – pilih **mode Raster Region** dari file yang dikehendaki, kemudian muncul kotak *Toolbar Tools*
- Buat *polygon* pada daerah yang dikehendaki, Pembuatan poligon tersebut dilakukan dengan menekan tombol *Icon Poligon*  pada kotak dialog *Editing Tools* sedang untuk menghapus tekan tombol *Icon Cut* .
- Lakukan penyimpanan *file vector dataset* dengan menekan tombol **Save**. Kemudian tutup kotak dialog **Editing Tools**.
- Buka kembali kotak dialog *Algorithm*, pilih icon *Edit Formula*, isi ketik formula seperti dalam contoh dibawah dan formula ini dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan: $IF [INREGION(r1) OR INREGION(r2)] THEN 7 ELSE input I$
- Setelah penembahan rumus selesai tekan tombol **Apply Change** lalu masukkan *region input* sesuai dengan *klasnya* masing-masing.
- Kemudian citra tersebut dapat disimpan dalam satu dataset baru




A.3. Pembuatan ASCII FILE

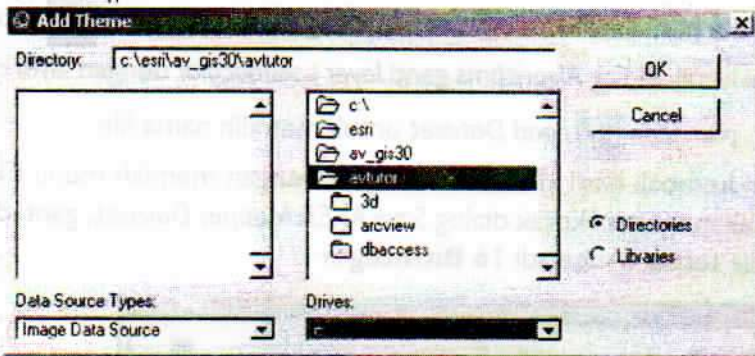
- Membuka hasil klasifikasi citra satelit dengan icon pilih icon  setelah muncul kotak dialog *Algorithms* ganti layer pseudocolor dengan layer class display, pilih icon  Load Dataset untuk memilih nama file.
- Simpan kembali hasil klasifikasi tersebut dengan memilih menu **File – Save**, akan muncul kotak dialog *Save As ER Mapper Dataset*, ganti **data type** file terbaru menjadi **16 BitInteger**



- Eksport file agar dapat dibaca perangkat lunak Arcview yang baru dibuat tersebut dengan memilih menu **Utilities – Export Raster – ARC/INFO BIL Image (.hdr) – Export.**

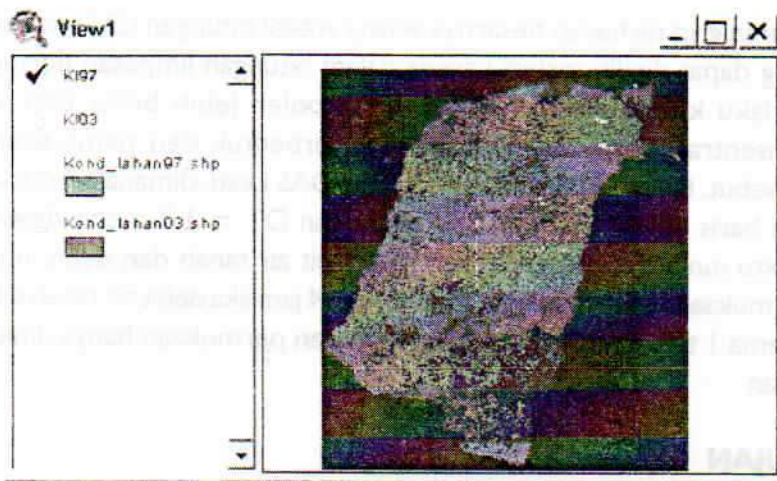
Tahapan pembuatan ASCII file dengan Perangkat Lunak ArcView dilanjutkan dengan langkah:

- Membuka perangkat lunak Arcview, pada Start Program pilih **Esri - Arcview GIS 3.2.**
- Memilih menu **File - Extensions..**, kemudian pilih extensions **Spatial Analyst**
- Memilih icon  untuk menampilkan citra hasil klasifikasi, rubah dulu *Data Source Types* menjadi *Image data Source*, kemudian pilih nama filenya dan tekan **OK.**



- Merubah citra tersebut menjadi grid dengan memilih menu **Theme - Convert to Grids**, menentukan nama grid tersebut dan menampilkannya.
- Setelah tampilan grid dari hasil klasifikasi tersebut dirasa benar, tahapan berikutnya adalah mengubah formatnya menjadi ASCII.
- Memilih menu **File – Export Data Source**, sehingga akan muncul kotak dialog *Export File Type*, dan pilih typenya menjadi *ASCII Raster* dan tekan **OK**, maka jadilah file hasil klasifikasi tersebut berbentuk ASCII





4 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 waktu konsentrasi hujan dalam 1 sel yang terbentuk dari pembuatan grid tersebut. Dalam aplikasi terhadap Sub-DAS Lesti, dimana jumlah kolom dan baris adalah 269 dan 290 buah, dan $DT = 1,3$ menit diperlukan waktu *running* berkisar 28 jam jika debit air tanah dan debit limpasan permukaan dihitung selama 1 tahun, dan 4 jam jika debit air tanah dihitung selama 1 tahun sedangkan debit limpasan permukaan hanya dihitung 1 bulan

5 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.

Sedangkan dalam proses menghitung debit air tanah, diperlukan informasi tentang imbuan air tanah setiap selang waktu hitungan. Penggunaan selang waktu hitungan 1 jam dipandang masih cukup teliti karena kecepatan rambat air melalui media tanah sangat lambat. Dengan demikian karena digunakan data hujan jam-jaman, maka dalam hitungan imbuan air tanah tidak diperlukan interpolasi.

Untuk mendapatkan data hujan jam-jaman yang lengkap selama 1 tahun dan berkualitas tidak mudah, padahal kondisi data tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil model yang diperoleh. Untuk mendapatkan data hujan yang berkualitas, sebaiknya digunakan data hujan terbaru dan sesuai dengan tahun data citra yang digunakan. Dengan menggunakan data hujan terbaru, maka kualitas data hujan yang baik dapat diperoleh dengan jalan melakukan kalibrasi terhadap setiap alat ukur hujan yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan data hujan tahun 1997 dan 2003 sesuai dengan tahun citra yang digunakan. Karena keterbatasan yang ada (data citra serta sarana yang ada), maka kalibrasi alat ukur hujan (dan alat ukur debit) tidak dilakukan sehingga mengalami beberapa kesulitan didalam proses kalibrasi dan verifikasi.

Penggunaan data hujan yang tidak lengkap masih dapat dilakukan, asal bukan pada hujan yang terjadinya beberapa hari sebelum terjadinya hujan

yang mempunyai intensitas tertinggi yang menyebabkan terjadinya debit limpasan permukaan maksimum karena berpengaruh langsung terhadap nilai KRS. Dalam hitungan debit, data hujan berpengaruh langsung terhadap kandungan air tanah pada lapisan tanah bagian atas (Soemarno, 1995) sehingga berpengaruh juga terhadap tebalnya air di atas permukaan tanah (AAP). Ketebalan AAP berpengaruh langsung terhadap debit limpasan permukaan. Karena debit limpasan permukaan maksimum berpengaruh signifikan terhadap nilai KRS, maka adanya rangkaian data hujan jam-jaman (terutama yang terjadi beberapa hari sebelum terjadinya hujan dengan intensitas maksimum) yang lengkap dan berkualitas sangat diperlukan.

APLIKASI PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI DAS “SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN UNTUK MENGENDALIKAN FLUKTUASI DEBIT SUNGAI LESTI”

Disampaikan Pada
Seminar Nasional Teknik Sumber Daya Air
Kebijakan dalam Pengelolaan Wilayah Sungai, Bandung 29 Juli 2008

ABSTRAKSI

Sungai Lesti merupakan anak sungai Brantas yang bermuara ke waduk Sengguruh. Fluktuasi debit sungai Lesti cenderung semakin tajam yang digambarkan dengan nilai koefisien resim sungai (KRS) semakin tinggi. Kenaikan nilai KRS tersebut bersamaan dengan adanya perubahan kualitas lingkungan di daerah aliran sungai (DAS) terutama alih kondisi dari hutan menjadi ladang. Keterkaitan secara hidrologis antara kedua faktor tersebut digunakan sebagai pijakan untuk merencanakan pengendalian fluktuasi debit sungai dengan melakukan simulasi perbaikan penggunaan lahan. DAS merupakan daerah tangkapan hujan yang secara hidrologis terpisah dari daerah sekitarnya, dan mengalihragamkan hujan menjadi aliran sungai sesuai dengan kondisi lingkungannya. Oleh karena rumitnya proses alih ragam hujan menjadi aliran di sungai, maka untuk menganalisa efek perubahan kondisi penggunaan lahan terhadap fluktuasi debit sungai diperlukan model. Dalam penelitian ini digunakan model hidrologi DAS yang dilengkapi sarana simulasi penggunaan lahan. Penggunaan model diawali dengan proses kalibrasi dan verifikasi untuk menyesuaikan nilai dari beberapa parameter model. Dalam simulasi rencana perbaikan jenis dan kondisi penggunaan lahan dibuat dalam berbagai alternatif. Hasil simulasi perbaikan penggunaan lahan dengan skenario, : a). Alternatif I, perbaikan penggunaan lahan dilakukan hanya pada

lahan dengan kondisi sangat kritis.b). Alternatif II, perbaikan penggunaan lahan dilakukan pada lahan dengan kondisi sangat kritis, dan lahan kritis. c). Alternatif III, perbaikan penggunaan lahan dilakukan pada lahan dengan kondisi sangat kritis, kritis, dan agak kritis. Dengan bantuan model diperoleh 3 alternatif rencana penggunaan lahan dengan luas lahan yang diperbaiki dan diprediksi nilai KRS berurutan sebagai berikut: 540 ha, 6768 ha, 14098 ha dan 18,53; 16,68; 15,67. Akurasi hasil rencana penggunaan lahan dan prediksi KRS dapat ditingkatkan dengan meningkatkan akurasi data jenis dan kondisi penggunaan lahan. Untuk mengimplementasikan rencana perbaikan tersebut memerlukan partisipasi masyarakat. Efektifitas kegiatan dapat ditingkatkan dengan pembentukan organisasi sebagai wadah manajemen, pemberian wawasan, pelatihan dan pendampingan, serta pengkondisian pengelolaan pasca panen.

Kata Kunci: Hidrologi DAS, Simulasi Penggunaan Lahan, Fluktuasi Debit Sungai

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

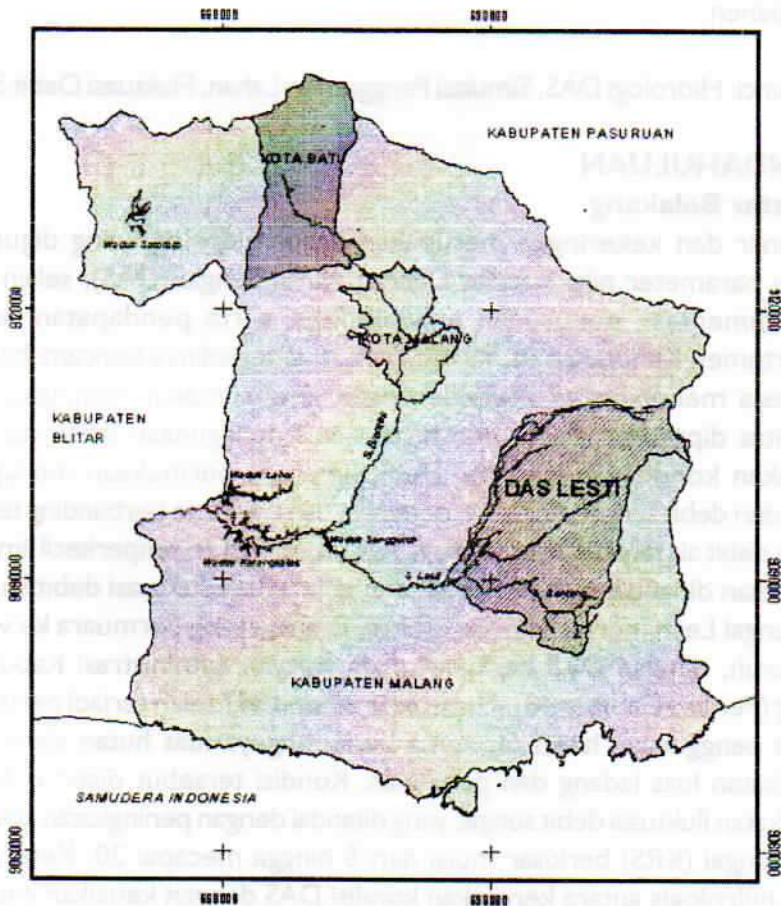
Banjir dan kekeringan merupakan unsur hidrologi yang digunakan sebagai parameter nilai kualitas Daerah Aliran Sungai (DAS), selain erosi dan sedimentasi, penurunan produktifitas, serta pendapatan rendah (Departemen Kehutanan RI, 1998). Frekuensi terjadinya bencana banjir di Indonesia menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat, dan mayoritas diprediksi akibat perubahan jenis penggunaan lahan dan atau kerusakan kondisi vegetasinya. Debit limpasan permukaan merupakan bagian dari debit sungai yang lebih dominan, dan besarnya berbanding terbalik dengan debit air tanah. Oleh karena hal tersebut usaha memperkecil limpasan permukaan dipandang efektif untuk mengendalikan fluktuasi debit sungai.

Sungai Lesti merupakan anak sungai Brantas yang bermuara ke waduk Sengguruh, dengan DAS berlokasi pada wilayah administrasi Kabupaten Malang (Periksa Gambar 43). Mulai akhir tahun 1997 telah terjadi perubahan kondisi penggunaan lahan terutama berkurangnya luas hutan alami serta peningkatan luas ladang dan pemukiman. Kondisi tersebut disertai dengan peningkatan fluktuasi debit sungai, yang ditandai dengan peningkatan koefisien resim sungai (KRS) berkisar mulai dari 5 hingga mencapai 20. Keterkaitan secara hidrologis antara kerusakan kondisi DAS dengan kenaikan nilai KRS tersebut dalam studi ini digunakan sebagai pijakan untuk merencanakan

pengendalian fluktuasi debit sungai dengan melakukan simulasi perbaikan penggunaan lahan.

DAS merupakan daerah tangkapan hujan yang secara hidrologis terpisah dari daerah sekitarnya, dan mengalihragamkan hujan menjadi aliran sungai sesuai dengan kondisi lingkungannya. Proses alih ragam hujan menjadi aliran sungai pada suatu DAS sangat rumit, karena dipengaruhi berbagai faktor dan mengalami beberapa fase perubahan. Oleh karena rumitnya proses tersebut maka untuk menganalisa efek perubahan kondisi penggunaan lahan terhadap fluktuasi aliran sungai memerlukan model.

Berbagai jenis model yang berkaitan dengan hidrologi dan rencana pengelolaan DAS sudah banyak dibangun, dengan segala kelebihan dan



Gambar 43. Lokasi DAS Lesti

keterbatasannya. Semua model tersebut terdiri dari model hidrologi DAS sebagai model inti, dan dilengkapi dengan model lainnya sebagai pendukung sesuai dengan tujuannya. Dalam penelitian ini digunakan model hidrologi DAS yang dilengkapi sarana simulasi penggunaan lahan.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang teridentifikasi, dirangkum dan dinyatakan dalam bentuk kalimat sebagai berikut:

1. Bagaimana alternatif rencana penggunaan lahan yang dapat digunakan untuk mengendalikan fluktuasi debit Sungai Lesti?
2. Untuk mendukung rencana tersebut, apa yang harus dilakukan oleh masyarakat?

1.3. Maksud dan Tujuan

Maksud dari studi ini ialah melakukan simulasi alternatif rencana penggunaan lahan dan menghitung nilai KRS-nya, serta menyusun skenario manajerial untuk mengakomodasi partisipasi masyarakat. Sedangkan tujuannya ialah memperoleh rencana penggunaan lahan untuk mengendalikan fluktuasi debit Sungai Lesti dan skenario partisipasi masyarakat untuk mendukungnya.

2 KAJIAN PUSTAKA

2.1. Simulasi Penggunaan Lahan

Ekosistem dalam DAS merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap DAS. Aktifitas dalam DAS yang menyebabkan perubahan ekosistem, misalnya perubahan penggunaan lahan, khususnya di daerah hulu, dapat memberikan dampak ke daerah hilir berupa perubahan fluktuasi debit sungai, dan kandungan sedimen, serta material terlarut di dalamnya. Komponen hidrologi yang terkena dampak kegiatan pembangunan di dalam DAS meliputi: koefisien aliran permukaan, koefisien resim sungai, nisbah debit maksimum-minimum, kadar lumpur atau kandungan sedimen layang sungai, laju, frekuensi, dan periode banjir, serta keadaan air tanah (Suripin, 2002).

Penelitian tentang optimasi penggunaan lahan yang dalam operasionalnya dilakukan dengan mencoba berbagai kondisi penggunaan lahan dengan model simulasi yang telah dilakukan antara lain ialah:

- a. Suhartanto (2001) memilih metode simulasi dengan model ANSWER dalam opti-masi pengelolaan DAS di Sub DAS Cidanau, Propinsi Banten. Sebagai fungsi tujuan ialah meminimalkan laju erosi permukaan, dan menghasilkan skenario rencana pengelolaan DAS yang optimal.
- b. Yeo *et al.* (2003) melakukan optimasi penggunaan lahan untuk mengurangi puncak limpasan langsung. Simulasi dilakukan dengan coba-coba memperbaiki penggunaan lahan SUB-DAS bagian tenggara dari Danau Erie. Dari penelitian tersebut dihasilkan panduan rencana penggunaan lahan.

2.2. Model Hidrologi DAS

Jenis Model Hidrologi DAS

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 Semi-terdistribusi (*Quasi-Distributed*).

Penggunaan Model Hidrologi DAS

Model matematika hidrologi DAS dirancang untuk menjawab pertanyaan Penman's pada suatu tingkatan detail yang tergantung pada masalah yang ada dan digunakan dalam spektrum yang luas berkisar antara manajemen DAS ke disain rancang-bangun. Model-model tersebut digunakan dalam perencanaan, disain, 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 hidrologi". Sokrut (2001) memanfaatkan model hidrologi berjenis terdistribusi gabungan dari model limpasan permukaan dengan model 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 penurunan 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 (Bear *et al.*, 1992). Model air tanah adalah penyederhanaan dari sistem nyata (air tanah) dalam hal hubungan antar faktor-faktor yang berpengaruh serta responsinya 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.

Deskripsi Model Yang Digunakan

Model hidrologi DAS yang digunakan dalam studi ini ialah Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai, dengan diskripsi sebagai berikut:

1. Model berjenis konseptual-terdistribusi,
2. Mengakomodasi pengaruh penggunaan lahan dalam proses alihragam hujan menjadi aliran sungai dengan parameter: kekasaran *Manning* (n), Koefisien koreksi pengaruh penggunaan lahan terhadap kapasitas infiltrasi (K_k), dan Koefisien Intersepsi (I_t)
3. Model Limpasan Permukaan dengan konsep aliran tidak seragam satu dimensi (1D), menggunakan skema 4 titik Preissmann.
4. Dapat menghitung debit jam-jaman menerus sepanjang tahun, dan KRS,
5. Dapat mengidentifikasi kondisi lahan,
6. Dapat secara otomatis memperbaiki penggunaan lahan dan menentukan lokasinya sesuai dengan skenario yang di-*input*-kan,
7. Dapat membaca data penggunaan lahan hasil analisa citra satelit,
8. Dapat mencetak peta hasil rencana perbaikan penggunaan lahan berbasis SIG dengan format ASCII yang dapat diubah kedalam format raster atau vektor.

Strategi Melibatkan Masyarakat Dalam Menjaga Keutuhan Hutan

Berbagai strategi telah digunakan untuk melibatkan masyarakat dalam menjaga keutuhan hutan, antara lain yaitu:

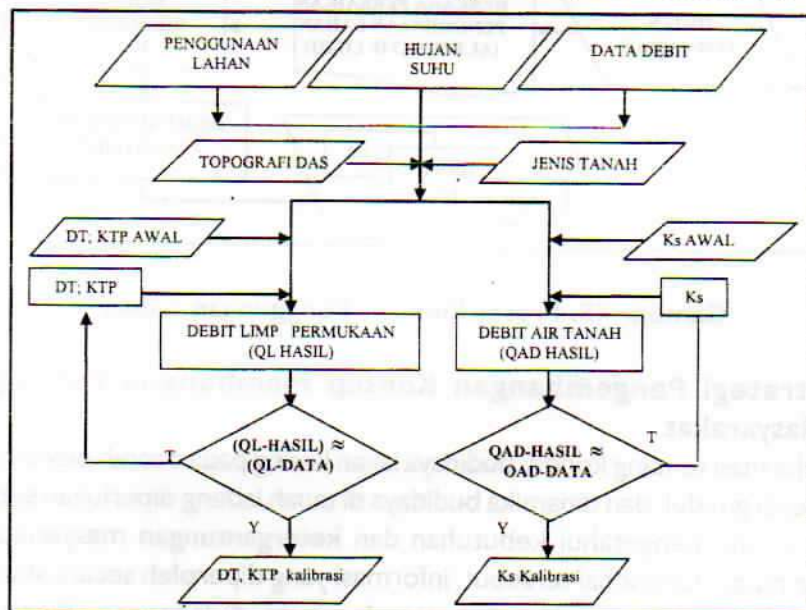
1. Membangun pusat pembangkit listrik skala kecil.
Tri Mumpuni menawarkan konsep "Pembangkit Listrik Bertumpu pada Masyarakat" yang sekaligus pemberdayaan masyarakat. Dari praktik yang ada, pengembangan pusat listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) tidak sekadar membangun pembangkit listrik, tetapi berpeluang menjadi salah satu upaya membangun kemandirian desa. (Investor Daily, 2007).
2. Kerjasama antara Perhutani dengan masyarakat sekitar.
Untuk mendukung implementasi skema Pengelolaan Hutan Bersama Masyarakat (PHBM), Perhutani membentuk beberapa Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH). Kelompok Tani Hutan (KTH) Sri Rasa yang dibentuk pada akhir tahun 2000 di Desa Sampora menjadi tempat bagi 20 orang anggotanya untuk melakukan aktivitas pada lahan hutan negara yang gundul. Pada lahan tersebut, KTH Sri Rasa memadukan jenis tanaman jangka panjang (jati, mahoni), menengah (pisang) dan pendek (jangka 'dapur': padi, jagung). (BALITBANGJATIM 2006).

3 METODE YANG DIGUNAKAN

3.1 Kalibrasi Model

Untuk kalibrasi parameter DT dan KTP digunakan debit jam-jaman akibat hujan sesaat, agar kedua parameter tersebut dapat dilihat dengan nyata pengaruhnya. Parameter DT merupakan selang waktu hitungan model, yang dapat digunakan untuk menyesuaikan waktu terjadinya debit puncak hidrograf hasil simulasi dengan debit hasil pengukuran. Sedangkan parameter KTP merupakan faktor pengali terhadap kapasitas infiltrasi tanah, yang dapat digunakan untuk menyesuaikan tinggi puncak debit.

Nilai Ks dapat digunakan untuk menyesuaikan besarnya debit air tanah hasil hitungan dengan debit aliran dasar hasil pengukuran. Proses simulasi nilai Ks dilakukan setelah diperoleh nilai KTP dan DT. Secara garis besar, kalibrasi model dilakukan sebagaimana dijelaskan pada Gambar 44.

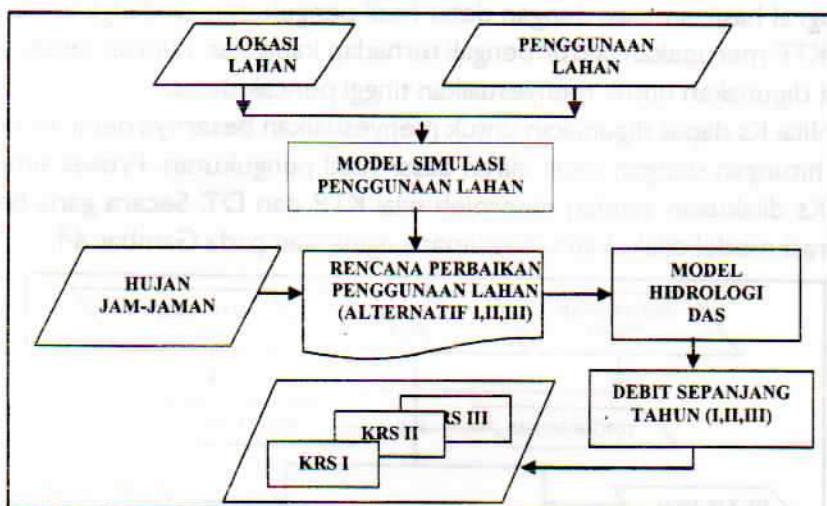


Gambar 44. Alir Proses Kalibrasi DT, KTP, dan Ks

3.2 Skenario Simulasi

Setelah parameter-parameter DT, KTP, dan Ks dianggap mempunyai nilai yang benar, maka digunakan sebagai masukan pada proses perhitungan debit dan KRS. Dalam simulasi rencana perbaikan jenis dan kondisi penggunaan lahan dibuat 3 (tiga) alternatif perbaikan (Gambar 45) dengan kriteria sebagai berikut:

1. Alternatif I, perbaikan penggunaan lahan dilakukan hanya pada lahan dengan kondisi sangat kritis.
2. Alternatif II, perbaikan penggunaan lahan dilakukan pada lahan dengan kondisi sangat kritis, dan lahan kritis.
3. Alternatif III, perbaikan penggunaan lahan dilakukan pada lahan dengan kondisi sangat kritis, kritis, dan agak kritis.



Gambar 45. Proses Simulasi Penggunaan Lahan

3.3 Strategi Pengembangan Konsep Membangun Partisipasi Masyarakat

Informasi tentang kondisi budidaya lahan kering pada daerah bekas hutan yang telah gundul, dan dinamika budidaya di tanah ladang diperlukan sebagai dasar untuk mengetahui kebutuhan dan ketergantungan masyarakat di sekitar hutan. Untuk hal tersebut, informasi yang diperoleh secara skunder perlu dilengkapi dengan pengamatan langsung di lapangan. Partisipasi masyarakat dapat diharapkan jika kebutuhan pokok mereka dapat terpenuhi, di lain pihak pemulihan fungsi hidrologis dari hutan secara berangsur juga harus tercapai dengan biaya yang realistis.

Oleh karena hal tersebut diperlukan konsep manajerial yang dapat memadukan dua kepentingan tersebut sehingga tidak saling bertentangan, bahkan diharapkan dapat bersinergi.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kalibrasi

Nilai DT

Simulasi nilai DT 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, menunjukkan bahwa perubahan nilai DT sebesar 1 menit dapat berakibat bergesernya waktu terjadinya debit puncak banjir sebesar 1 jam. Oleh karenanya maka nilai DT sebaiknya dipilih yang paling besar agar waktu yang digunakan program untuk analisa data dapat ditekan sekecil mungkin, akan tetapi 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 berikutnya digunakan nilai 1,3 menit. Penggunaan nilai $DT = 2$ menghasilkan hidrograf debit dengan dua puncak, sedangkan penggunaan nilai $DT = 3$ menghasilkan satu debit puncak dengan nilai yang sangat rendah. Hal tersebut diakibatkan adanya beberapa nilai debit puncak akibat hujan pada setiap jamnya yang tidak terekam, dan atau terjadinya pergeseran waktu yang menyebabkan tidak tercerminkan proses kumulatif debit yang sebenarnya.

Nilai KTP

Penyesuaian tinggi puncak debit limpasan hasil hitungan model terhadap tinggi puncak debit hasil pengukuran dilakukan dengan mencoba-coba nilai parameter KTP, yang dalam operasionalnya model mengalikan nilai KTP tersebut terhadap kapasitas infiltrasi.

Untuk menemukan nilai yang paling tepat, simulasi nilai KTP dilakukan dengan merubah nilai yang relatif berdekatan. Dari simulasi yang dilakukan dan visualisasi grafis yang membandingkan antara debit hasil model dengan debit hasil pengukuran, hidrograf debit menggambarkan bahwa nilai KTP yang terdekat adalah $= 1.08555$. Hal tersebut diperkuat dengan hasil uji kesesuaian antara hidrograf hasil pengamatan dengan hasil model untuk $KTP = 1.08555$, nilai $R^2 = 0,8540$. Karena antara hidrograf debit limpasan permukaan hasil pengukuran dan hasil model tidak berbeda nyata, maka nilai $KTP = 1,08555$ dapat digunakan dalam proses berikutnya.

Dari ringkasan hasil yang ditabulasikan pada Tabel 35, terlihat nilai $DT = 1,30$; $KTP = 1.08555$, dapat dianggap cukup teliti jika digunakan pada proses selanjutnya.

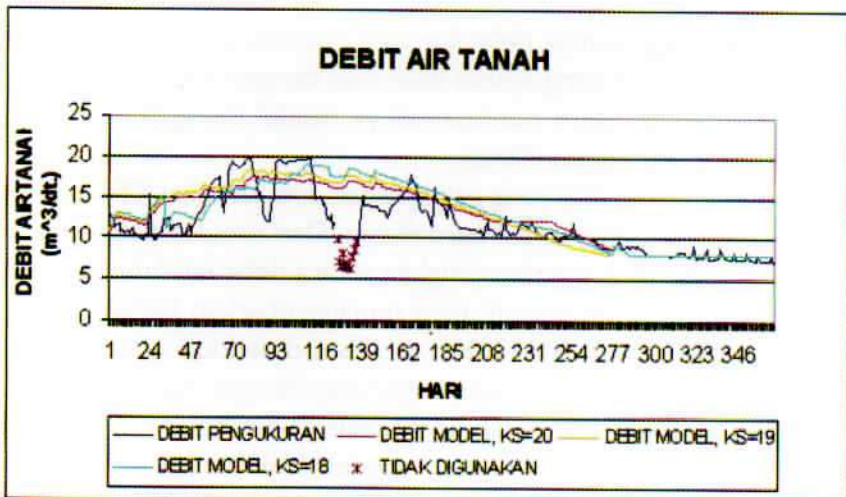
Tabel 35 Ringkasan Hasil Kalibrasi DT dan KTP

No.	Uraian	DT	KTP	Q _P	Selisih Q _P		Tp (jam)	Sel.Tp (jam)	R ²
					(m ³ /dt)	(%)			
1	Pengamatan	-	-	50	-	-	5	-	-
2	Simulasi I	1.15	1.08555	53.40	3.40	6.80	4	1	0.9102
3	Simulasi II	1.20	1.08555	51.88	1.88	3.76	5	0	0.9147
4	Simulasi III	1,25	1.08555	49.13	0.87	1.74	5	0	0.9187
5	Simulasi IV	1.30	1.08555	49.18	0.82	1.64	5	0	0.9223
6	Simulasi V	2.00	1.08555	30.30	19.70	39.4	5	0	0.6503
7	Simulasi VI	3.00	1.08555	16.92	33.08	66.16	4	1	0.2043
8	Simulasi VII	1.30	1.08600	62.58	12.58	25.16	5	0	0.9157
9	Simulasi VIII	1.30	1.08570	54.51	4.51	9.02	5	0	0.9158
10	Simulasi IX	1.30	1.08560	51.82	1.82	3.64	5	0	0.9158
11	Simulasi X	1.30	1.08555	49.18	0.82	1.64	5	0	0.9223
12	Simulasi XI	1.30	1.08550	49.13	0.87	1.74	5	0	0.9157
13	Simulasi XII	1.30	1.08500	35.68	14.32	28.64	5	0	0.9156

Sumber: Hasil Hitungan

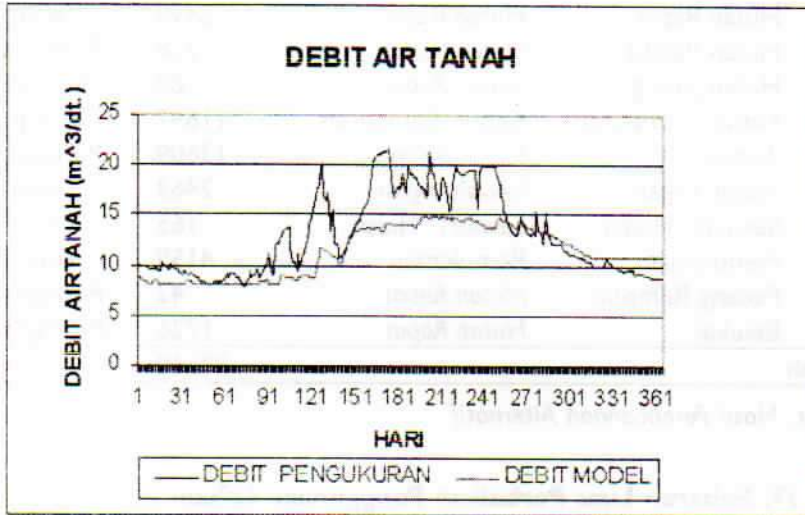
Nilai Ks

Proses simulasi nilai Ks dilakukan setelah diperoleh nilai KTP dan DT. Dalam penelitian ini, berdasarkan nilai DT dan KTP hasil kalibrasi, nilai Ks disimulasi dengan mengubah dari: 18, 19, dan 20 terlihat nilai Ks = 20 memberikan grafik yang paling dekat dengan grafik data debit pengukuran (Gambar 46). Dengan demikian maka untuk hitungan berikutnya digunakan nilai Ks = 20.



Gambar 46 Debit Rerata Harian dengan berbagai nilai Ks

Untuk mengetahui akurasi nilai Ks hasil kalibrasi, maka dilakukan verifikasi. Hasil hitungan debit air tanah dengan masukan data hujan jam-jaman yang bersesuaian, dan nilai Ks hasil kalibrasi, dibandingkan dengan debit air tanah hasil pengukuran disajikan pada Gambar 47.



Gambar 47. Hidrograf Debit Air Tanah Tahun 2003

Dari uji statistik diperoleh $R^2 = 0,6466$, sehingga model dianggap dapat menirukan kondisi hidrologis lapangan. Dengan demikian simulasi perbaikan kondisi penggunaan lahan dapat dilakukan.

4.2 Rencana Penggunaan Lahan

Dalam rencana perbaikan penggunaan lahan dilakukan perubahan meliputi: hutan parsial dan hutan jarang diperbaiki menjadi hutan rapat. Tegalan diubah menjadi kebun campuran, padang rumput dan belukar alam diubah menjadi hutan rapat. Rincian perubahan tersebut dijelaskan pada Tabel 36, Tabel 37, dan Tabel 38, serta diperjelas dengan Gambar: 48, 49, dan 50.

Hasil analisa perubahan penggunaan lahan tersebut pada lahan berkondisi sangat kritis, kritis, dan agak kritis ditampilkan pada Tabel 39.

Tabel 36. Rencana Perbaikan Penggunaan Lahan

No.	Penggunaan Lahan			Keterangan
	Kondisi Eksisting	Rencana	Luas (ha)	
1	Hutan Alam	Hutan Alam	1124	Tetap
2	Hutan Rapat	Hutan Rapat	2499	Tetap
3	Hutan Parsial	<i>Hutan Rapat</i>	718	Perbaikan
4	Hutan Jarang	<i>Hutan Rapat</i>	88	Perbaikan
5	Kebun Campuran	Kebun Campuran	11647	Tetap
6	Tegalan	<i>Kebun Sejenis</i>	13609	Perbaikan
7	Sawah Irigasi	Sawah Irigasi	2463	Tetap
8	Sawah T. Hujan	Sawah T. Hujan	165	Tetap
9	Pemukiman	Pemukiman	4159	Tetap
10	Padang Rumput	<i>Hutan Rapat</i>	42	Perbaikan
11	Belukar	<i>Hutan Rapat</i>	1726	Perbaikan
Jumlah			38240	

Sumber: Hasil Perencanaan Alternatif

Tabel 37. Sebaran Luas Perbaikan Penggunaan Lahan

No.	Penggunaan Lahan Eksisting	Kondisi Lahan →	Perbaikan Penggunaan (ha)		
			Sangat Kritis	Kritis	Agak Kritis
1	Hutan Parsial	Hutan Rapat	2	1	0
2	Hutan Jarang	Hutan Rapat	17	3	68
3	Tegalan	Kebun Sejenis	520	6220	6644
4	Padang Rumput	Hutan Rapat	0	0	4
5	Belukar	Hutan Rapat	1	4	614
Jumlah luas masing-masing kondisi			540	6228	7330
Jumlah luas perbaikan alternatif I			540		
Jumlah luas perbaikan alternatif II				6768	
Jumlah luas perbaikan alternatif III					14098

Sumber: Hasil hitungan

Adapun luas lahan dari masing-masing jenis penggunaan lahan Alternatif I, II, dan III adalah sebagai berikut:

Tabel 38. Luas Rencana Perbaikan Penggunaan

No.	Kondisi Eksisting		Rencana Perbaikan (ha)						
	Jenis	Luas (ha)	Jenis	Alternatif I		Alternatif II		Alternatif III	
				P	T	P	T	P	T
1	Hutan Alam	1124	Hutan Alam	0	1124	0	1124	0	1124
2	Hutan Rapat	2499	Hutan Rapat	0	2499	0	2499	0	2499
3	Hutan Parsial	718	Hutan Rapat	2	716	3	715	3	715
4	Hutan Jarang	88	Hutan Rapat	17	71	20	68	88	0
5	Kebun Campuran	11647	Kebun Campuran	0	11647	0	11647	0	11647
6	Tegalan	13609	Kebun Sejenis	520	13089	6740	6869	13384	225
7	Sawah Irigasi	2463	Sawah Irigasi	0	2463	0	2463	0	2463
8	Sawah T. Hujan	165	Sawah T. Hujan	0	165	0	165	0	165
9	Pemukiman	4159	Pemukiman	0	4159	0	4159	0	4159
10	Padang Rumput	42	Hutan Rapat	0	42	0	42	4	38
11	Belukar	1726	Hutan Rapat	1	1725	5	1721	619	1107
Sub total				540	37700	6768	31472	14098	24142
Total		38240		38240		38240		38240	

Catatan: P = Perbaikan, dan T = Tanpa perbaikan

Hasil analisa nilai KRS serta alternatif luasan lahan yang diperbaiki penggunaannya adalah sebagai berikut:

Tabel 39. Hasil Hitungan KRS

No.	Alternatif	Luas Lahan yang diperbaiki (ha)	Q rerata maks	Q rerata min	KRS
1	I	540	152,49	8,23	18,53
2	II	6768	137,30	8,23	16,68
3	III	14098	128,98	8,23	15,67
4	Kondisi eksisting		173,73	8,23	21,11

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Partisipasi Masyarakat

Pengembalian kondisi hutan yang telah rusak ke dalam kondisi semula tentunya akan menemui kesulitan yang sangat tinggi, sehingga dalam kondisi saat ini dapat dianggap kecil sekali kemungkinan dapat tercapai. Oleh karena hal tersebut dalam studi ini diasiasi dengan usaha pengembalian fungsi hutan secara hidrologis dari penggunaan lahan yang mungkin direalisasikan. Untuk hal tersebut, tentunya diperlukan partisipasi masyarakat dan kebijakan pengelola DAS yang lebih cerdas.

Mayoritas lahan bekas hutan yang ditebang saat ini oleh masyarakat petani digunakan sebagai budidaya tanaman semusim, hal ini tentunya sesuai dengan kebutuhannya. Keterbatasan pemahaman dan cara pandangnya pada umumnya mereka masih dalam tahap menikmati budidaya pada media tanah yang subur dengan hasil yang melimpah, tanpa melakukan usaha konservasi. Sedangkan pada lahan kering mayoritas secara menerus ditanami tebu, namun karena jadwal tanam tidak terkendali maka seringkali mengalami kesulitan dalam proses pemasarannya.

Untuk hal tersebut tentunya segera diperlukan usaha yang nyata untuk bersama-sama merancang program bagaimana budidaya pertanian dengan konsep yang benar, baik dari tinjauan konservasi, maupun perundangan, hingga strategi pemasaran hasilnya. Organisasi sebagai wadah manajemen harus dibentuk dari unsur pengelola DAS dan masyarakat petani. Pemberian wawasan dan pengembangan empati menjadi tumpuan utama, agar di lingkungan masyarakat timbul kesadaran untuk juga berorientasi terhadap usaha konservasi, serta memikirkan akibat jangka panjang.

Pengetahuan dari petani lahan kering tentang perlunya konservasi pada umumnya masih rendah, sehingga pemberian wawasan tentang usaha tani konservasi sangat perlu dilakukan. Dengan orientasi untuk menjaga produktifitas pertanian jangka panjang dan eksistensi sumber air yang mereka perlukan juga, diharapkan akan membangkitkan kesadarannya berpartisipasi terhadap kelesteraan lingkungan. Pemberian wawasan dapat dilakukan dalam bentuk penyuluhan, yang dilakukan oleh petugas perhutani, lembaga swadaya masyarakat, dan lembaga musyawarah di tingkat desa.

Pelatihan keterampilan berorganisasi perlu dilakukan sebagai tindak lanjut dari pemberian wawasan, sebelum pembentukan organisasi sebagai wadah manajemen bersama. Dengan pelatihan tersebut diharapkan masyarakat akan memahami perlunya organisasi dan mempunyai keterampilan dasar dalam menjalankan aktifitasnya. Pelatihan sebaiknya

diakhiri dengan pembentukan organisasi, yang tentunya harus melibatkan semua unsur yang terkait serta dipastikan adanya proses pendampingan. Pendampingan secara kontinyu, baik dalam hal budidaya pertanian lahan kering yang berorientasi konservasi maupun pengelolaan organisasi. Pengelolaan pasca panen dan pembentukan sistem pasar merupakan sentuhan berikutnya yang harus dilakukan.

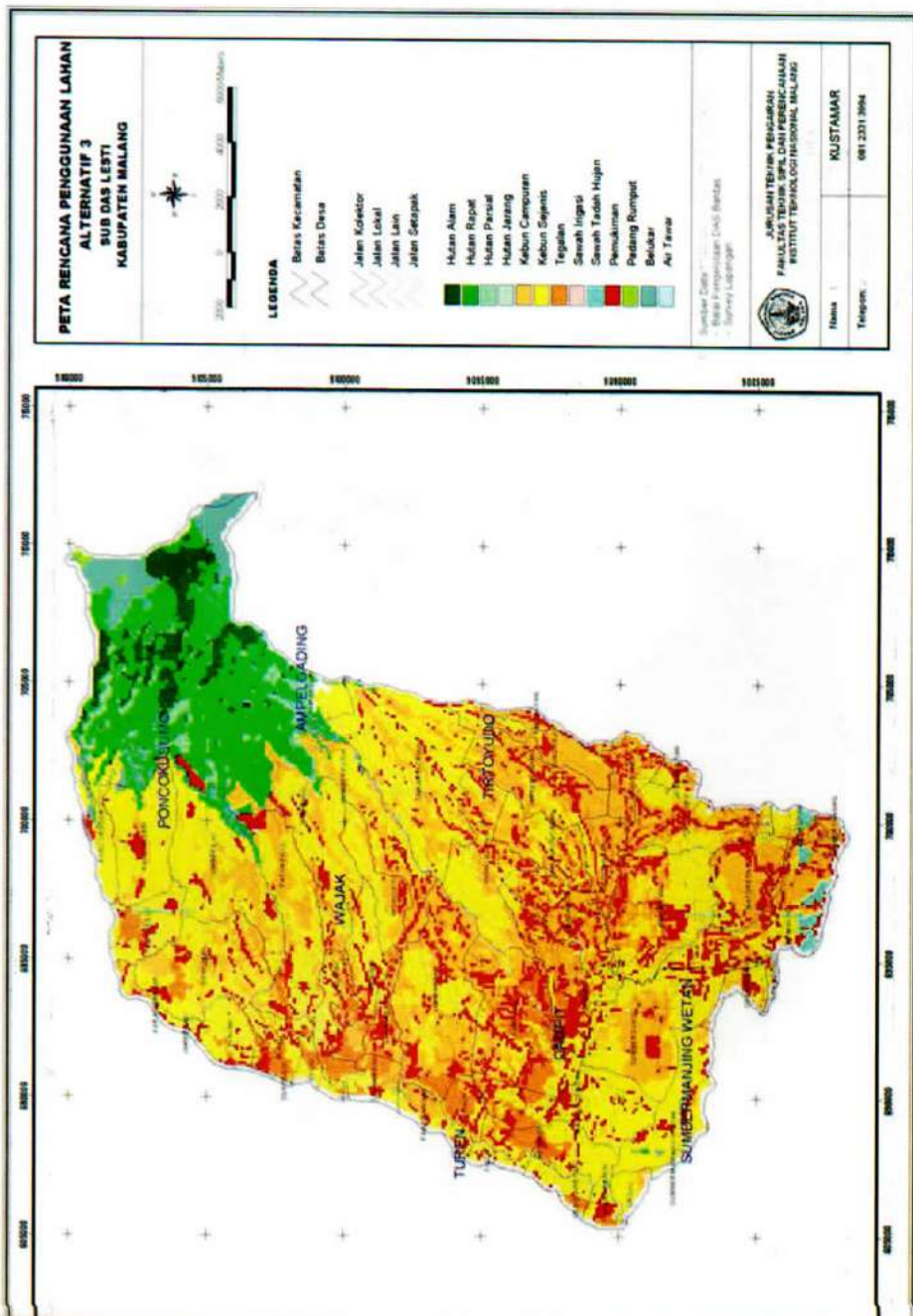
5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari proses kalibrasi model dihasilkan nilai DT, KTP, dan Ks berturut-turut: 1,3 menit, 1.08555, dan 20. Dengan bantuan model diperoleh 3 alternatif rencana penggunaan lahan dengan luas lahan yang diperbaiki dan diprediksi nilai KRS berurutan sebagai berikut: 540 ha, 6768 ha, 14098 ha dan 18,53; 16,68; 15,67.
2. Partisipasi masyarakat untuk mendukung keberhasilan dalam implementasi rencana penggunaan lahan dan bersinergi untuk mengembalikan fungsi hidrologis lahan bagaikan hutan dapat diwujudkan dalam bentuk: a). Bertani dengan orientasi konservasi, b). Memilih jenis tanaman, mengatur jadwal tanam, dan menanam dengan cara yang benar, c). Membangun sistem pengelolaan pasca panen.

5.2 Saran

1. Akurasi hasil rencana penggunaan lahan dan prediksi KRS dapat ditingkatkan dengan meningkatkan akurasi data jenis dan kondisi penggunaan lahan.
2. Untuk meningkatkan keberhasilan dalam implementasinya, tentu diperlukan studi dari tinjauan sosial dan ekonomi terlebih dahulu.



DAFTAR PUSTAKA

- BAKOSURTANAL. 2001. **Peta Rupa Bumi**, Blom Narcon Cooperation. Bandung.
- Balai Pengelolaan DAS Brantas Surabaya. 2003. **Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Lesti**. Tidak diterbitkan.
- BALITBANGJATIM. 2006. **Potensi dan Tantangan Pengelolaan Hutan**. http://www.balitbangjatim.com/jurnal_main/isi_detail.asp?id_jurnal=12&id_isi=18&hal=5
- Bear, J., M.Belijin, and R.Ross. 1992. **Fundamentals of Ground-Water Modeling**, United States Environmental Protection Agency.
- Departemen Kehutanan RI. 1998. **Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai**, Direktorat Jenderal Reboisasi Dan Rehabilitasi Lahan. Jakarta.
- Departemen Kehutanan RI. 2001. **Keputusan Menteri Kehutanan Tentang Pedoman Penyelenggaraan Pengelolaan DAS**. http://www.dephut.go.id/Informasi/UNDANG2/skmenhut/L_52_01.htm. 2 Pebruari 2005.
- Dinas Pengairan Kab. Malang. 2004. **Data Curah Hujan Harian & Lokasi Sta. Hujan**, tidak diterbitkan.
- Investor Daily. 2007. Mikro Hidro ala Tri Mumpuni, Terangi Desa, Manfaatkan Sumber Alam. JAKARTA. Saturday, 14 April 2007 02:13:00.
- Kustamar, Suharto, B., Soemarno, Budikusuma, W. 2007. **Pengembangan Model Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai**. Disertasi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Kustamar. 2008. Simulasi Penggunaan Lahan Untuk Mengendalikan Fluktuasi Debit Sungai Lesti. Proseding Seminar Nasional Teknik Sumberdaya Air Unjani, 29 Juli 2008. Bandung
- PERUM JASA TIRTA I. 2003. **Data Debit & Hujan**, tidak diterbitkan.
- Singh, V.P., and D.A.Woolhiser. 2002. **Mathematical Modeling of Watershed Hydrology**, J. Of Hydrology Engineering, July/August 2002.
- Sokrut, N. 2001. **A Distributed coupled model of surface and subsurface dynaomics as a tool for catchment management**, Thesis, Dept. Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Sweden.
- Suhartanto, E. 2001. **Optimasi Pengelolaan DAS di Sub DAS Cidanau Kab. Serang Propinsi Banten Menggunakan Model Hidrologi ANSWERS**. http://rudycr.250x.com/sem_1_012/ery_suhartanto.htm. 21 Juni 2004.

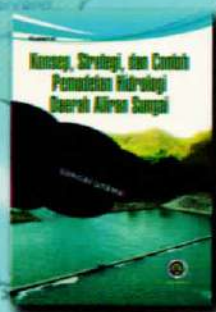
- Yeo, I.Y., S.I.Gordon, and J.M.Guldmann. 2003. **Optimizing Patterns of Land Use to Reduce Peak Runoff Flow and Nonpoint Source Pollution with an Integrated Hydrological and Land- Use Model.** <http://knowlton.osu.edu/KSAsstudent/crp/Gordon/yeo.pdf>. 12 Juli 2004.



Kustamar, lahir di Blitar Jawa Timur dari seorang ibu Suratin dan ayah Sumarto. Kecintaan terhadap bidang keairan ditekuni sejak di sekolah menengah yaitu pada Jurusan Bangunan Air di STN I dan STM Negeri Blitar. Pendidikan tinggi, ilmu keairan dialami di Jurusan Teknik Pengairan S-1 ITN Malang, di Program Pasca Sarjana S-2 Teknik Sipil, Minat studi Teknik Sungai UGM, dan di Program Doktor Ilmu Pertanian, Minat Studi Teknik Sumberdaya Air UNIBRAW.

Dengan dukungan penuh dari keluarga, Ari Mukti (Istri), Bilayat Bagas, Hanung Sinandi, dan Asa Hening (anak) penulis menekuni karir sebagai akademisi. Diawali sebagai dosen tetap ITN Malang, kemudian menjadi Dosen PNS di Kopertis Wil. VII dpk. ITN Malang, hingga saat ini.

DAS LESTI



ISBN 979495881-6



9789794958810