

**APLIKASI SIG UNTUK ANALISA EROSI, SEDIMEN DAN
LIMPASAN PERMUKAAN DI SUB DAS MANTING
KABUPATEN MOJOKERTO**

S K R I P S I

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun Oleh :

**RIZQI HIDAYATUL MAULIDIYAH
NIM. 0610643025-64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**

repository.ub.ac.id

**APLIKASI SIG UNTUK ANALISA EROSI, SEDIMEN DAN
LIMPASAN PERMUKAAN DI SUB DAS MANTING
KABUPATEN MOJOKERTO**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.)



Disusun Oleh :

RIZQI HIDAYATUL MAULIDIYAH
NIM. 0610643025-64

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ery Suhartanto, ST.MT
NIP. 19730305 199903 1 002

Dr.Eng. Donny Harisuseno, ST.MT
NIP. 19750227 199903 1 001



RINGKASAN

Rizqi Hidayatul Maulidiyah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2013, *Aplikasi SIG untuk Analisa Erosi, Sedimen, dan Limpasan Permukaan di Sub DAS Manting Kabupaten Mojokerto*, Dosen Pembimbing: Dr. Ery Suhartanto, ST., MT. dan Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT.

Sub DAS Manting merupakan bagian dari DAS Brangkal di Kabupaten Mojokerto. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, pemenuhan kebutuhan manusia yang selalu memanfaatkan kekayaan sumber daya alam sebagai bahan bakunya semakin meningkat dari hari ke hari. Akibatnya, hutan ataupun daerah hijau lainnya kini semakin sempit dan berubah wujud menjadi daerah pertanian maupun daerah pemukiman, yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap erosi, sedimen, dan limpasan permukaan yang terjadi pada Sub DAS Manting. Tujuan dari studi ini adalah memprediksi besarnya erosi, sedimen, dan limpasan permukaan yang ada pada Sub DAS menggunakan *software* AVSWAT 2000.

Software AVSWAT 2000 adalah program yang berbasis SIG yang bekerja sebagai ekstensi (*Graphical User Interface*) dalam *software* Arc View. Program AVSWAT 2000 dirancang khusus dan dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang ada dalam suatu DAS. Salah satu kemampuannya adalah untuk memprediksi erosi, sedimen, dan limpasan permukaan yang ada pada DAS tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dengan menganalisis data hidrologi, melakukan pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*), melakukan pendugaan erosi, sedimen, dan limpasan permukaan. Permukaan bumi di Sub DAS Manting direpresentasikan ke dalam bentuk *Digital Elevation Model* (DEM) dengan ukuran grid 25m × 25m untuk mendapatkan karakteristik Sub DAS yang lebih detail. Untuk mendapatkan nilai-nilai prediksi parameter aliran, program membutuhkan *overlay* peta tataguna lahan dan peta jenis tanah. Data hidrologi dan klimatologi dibutuhkan program untuk memperhitungkan besar aliran dalam Sub DAS dan evaporasi yang terjadi dalam DAS. Kalibrasi dibutuhkan untuk membandingkan data pengukuran di lapangan dengan data hasil pemodelan.

Hasil dari studi ini Sub DAS Manting dibagi menjadi 5 sub-sub DAS dengan luas total 8166 ha (8,166 km²). Hasil penelitian pada Sub DAS Manting dengan model SWAT menunjukkan besarnya rata-rata erosi yang terjadi antara tahun 2000 sampai dengan 2010 sebesar 24,768 ton/ha/th, sedimen sebesar 12,384 ton/ha/th, dan limpasan permukaan sebesar 1410,471 mm/th.

Kata Kunci: AVSWAT, erosi, sedimen, dan limpasan permukaan.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, petunjuk dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Aplikasi SIG untuk Analisa Erosi, Sedimen dan Limpasan Permukaan di Sub DAS Manting Kabupaten Mojokerto**”. Tidak lupa shalawat serta salam patut dihaturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi setiap umat manusia. Amin.

Penyusunan Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Pengairan Universitas Brawijaya untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Skripsi ini, antara lain :

1. Dr. Ery Suhartanto, ST. MT dan Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST. MT. selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar membimbing penulis dalam proses pengerjaan Skripsi ini dan memberi arti dalam kehidupan.
2. Kedua Orang Tua dan keluarga penulis terimakasih atas segala bimbingan, semangat, perhatian, dukungan material dan spiritual serta doanya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
3. Teman-teman Teknik Pengairan 2006 yang selalu menjadi teman diskusi yang baik dan kritis selama penulisan berlangsung.

Dalam penyusunan laporan ini penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki sehingga saran dan kritik sangatlah diperlukan. Jika ada kelebihan dari laporan ini semata-mata datangnya dari Allah SWT dan jika ada kekurangan semata-mata datangnya dari penulis. Akhirnya, penulis ucapkan terima kasih dan semoga laporan ini bermanfaat Amin.

Wassalaammualaikum Wr.Wb.

Malang, Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan dan Manfaat	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Hidrologi dan Pengelolaan DAS	4
2.1.1 Daur Hidrologi	4
2.1.2 Ekosistem DAS	5
2.2 Analisa Hidrologi	7
2.2.1 Presipitasi	7
2.2.2 Stasiun Hujan	7
2.2.3 Uji Konsistensi Data Curah Hujan	8
2.2.3.1 Pemeriksaan <i>Outlier</i> (Data di Luar Ambang Batas)	11
2.2.4 Uji Homogenitas Data	11
2.2.5 Curah Hujan Rerata Daerah (<i>Areal Rainfall</i>)	13
2.2.6 Evaporasi dan Evapotranspirasi	14
2.2.6.1 Definisi	14
2.2.6.2 Perhitungan Besarnya Evapotranspirasi	15
2.3 Erosi	16
2.3.1 Proses Erosi	16
2.3.2 Klasifikasi Erosi	17
2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Erosi	18
2.3.4 Prakiraan Besarnya Erosi dan Hasil Sedimentasi	20

2.3.4.1	MUSLE (<i>Modified Universal Soil Loss Equation</i>)	21
2.3.4.2	Faktor Erodibilitas Tanah	22
2.3.4.3	Faktor Pengelolaan Tanaman	25
2.3.4.4	Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah (<i>Support Practice Factor</i>) (P)	26
2.3.4.5	Faktor Topografi Panjang Lereng (L) dan Kriteria Lereng (S)	28
2.3.4.6	Faktor Pecahan Batuan Kasar (<i>Coarse Fragment Factor</i>)	29
2.3.5	Hasil Sedimen (<i>Sedimen Yield</i>)	29
2.3.5.1	Transportasi Sedimen	29
2.4	Sistem Informasi Geografis	32
2.4.1	Definisi SIG	32
2.4.2	Subsistem SIG	33
2.4.3	Komponen SIG	35
2.4.4	Struktur Data	36
2.4.5	Cara Kerja SIG	37
2.4.6	Pengolahan Data	38
2.4.6.1	Pemasukan Data	38
2.4.6.2	Manipulasi dan Analisis Data	38
2.4.6.3	Keluaran Data (<i>Output</i>)	40
2.4.7	Analisa Tumpang Susun (<i>Overlay</i>)	40
2.5	AVSWAT 2000 (<i>Arc View Soil and Water Assesment Tool</i>)	40
2.5.1	Input Data AVSWAT 2000	41
2.5.2	Input Data Hidrologi ke AVSWAT 2000	42
2.5.3	Fase Penelusuran Siklus Hidrologi	42
2.5.3.1	Fase Penelusuran Siklus Hidrologi di Lahan	43
2.5.3.2	Fase Penelusuran Siklus Hidrologi Aliran	44
2.5.4	Pembangkit Cuaca (<i>Weather Generation</i>)	44
2.5.5	Limpasan Permukaan (<i>Surface Runoff</i>)	48
2.5.5.1	Volume Limpasan Permukaan	49
2.5.5.2	Debit Puncak Limpasan (<i>Peak Runoff Rate</i>)	51
2.5.5.2.1	Waktu Konsentrasi (<i>Time of Concentration</i>)	52
2.5.5.2.2	Koefisien Aliran	54
2.5.5.2.3	Intensitas Hujan	54
2.5.5.2.4	Modifikasi Rumus Rasional	55

2.5.6	Teori Dalam AVSWAT 2000	56
2.5.6.1	<i>Automatic Delineation</i>	56
2.5.6.2	<i>Land Use & Soil Defination</i>	57
2.5.6.3	HRU <i>Distribution</i>	57
2.5.6.4	Hasil Simulasi Program AVSWAT 2000	57
2.6	Analisa Akurasi Model	58
2.6.1	Kesalahan Relatif	58
2.6.2	Analisis Regresi	58
2.6.3	Nash-Sutcliffe Efisiensi (NSE)	59
2.6.4	Metode Koefisien Performance (Cp)	59
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Lokasi Daerah Studi	60
3.2	Sistematika Pengerjaan Studi	61
3.2.1	Metode Pengumpulan Data	61
3.2.2	Langkah-langkah Penyelesaian Masalah Studi	61
3.3.3	Analisa Hasil Perhitungan	64
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Tahapan Pengolahan Data	68
4.1.1	Pembuatan Batas DAS dan Pembuatan DEM AVSWAT 2000	68
4.2	Pengolahan Data Hujan	72
4.2.1	Uji Konsistensi	73
4.2.2	Pengolahan Data Hujan Untuk Input Data AVSWAT 2000	76
4.3	Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah	79
4.3.1	Kondisi Sebaran Tata Guna Lahan	79
4.3.2	Kondisi Sebaran Jenis Tanah	80
4.3.3	Pengolahan Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah	81
4.3.4	Penentuan Klasifikasi Tanah dan <i>Curve Number</i> (CN)	83
4.3.5	Angka Kekasaran Manning di Lahan dan Sungai	84
4.3.6	Pengolahan HRU (<i>Hydrologic Response Unit</i>)	85
4.3.7	Menejemen Sub DAS	87
4.3.8	Pengolahan Data Stasiun Cuaca (<i>Weather Station</i>)	87
4.3.9	Running Simulation	89
4.4	Output AVSWAT 2000	90

4.5	Teknik Kalibrasi	91
4.5.1	Kalibrasi Aliran atau Debit Model Avswat 2000	91
4.5.2	Input Nilai Kalibrasi Parameter	93
4.5.2.1	Skenario I	94
4.5.2.2	Skenario II	97
4.5.2.3	Skenario III	99
4.6	Uji Korelasi Hasil Simulasi	103
4.6.1	Analisis Regresi	103
4.6.2	Nash-Sutcliffe Efisiensi (NSE)	104
4.6.3	Metode Koefisien Performance (Cp)	105
4.7	Pembahasan Hasil Simulasi Pemodelan AVSWAT 2000	106
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	110
5.2	Saran	110
DAFTAR PUSTAKA		xii

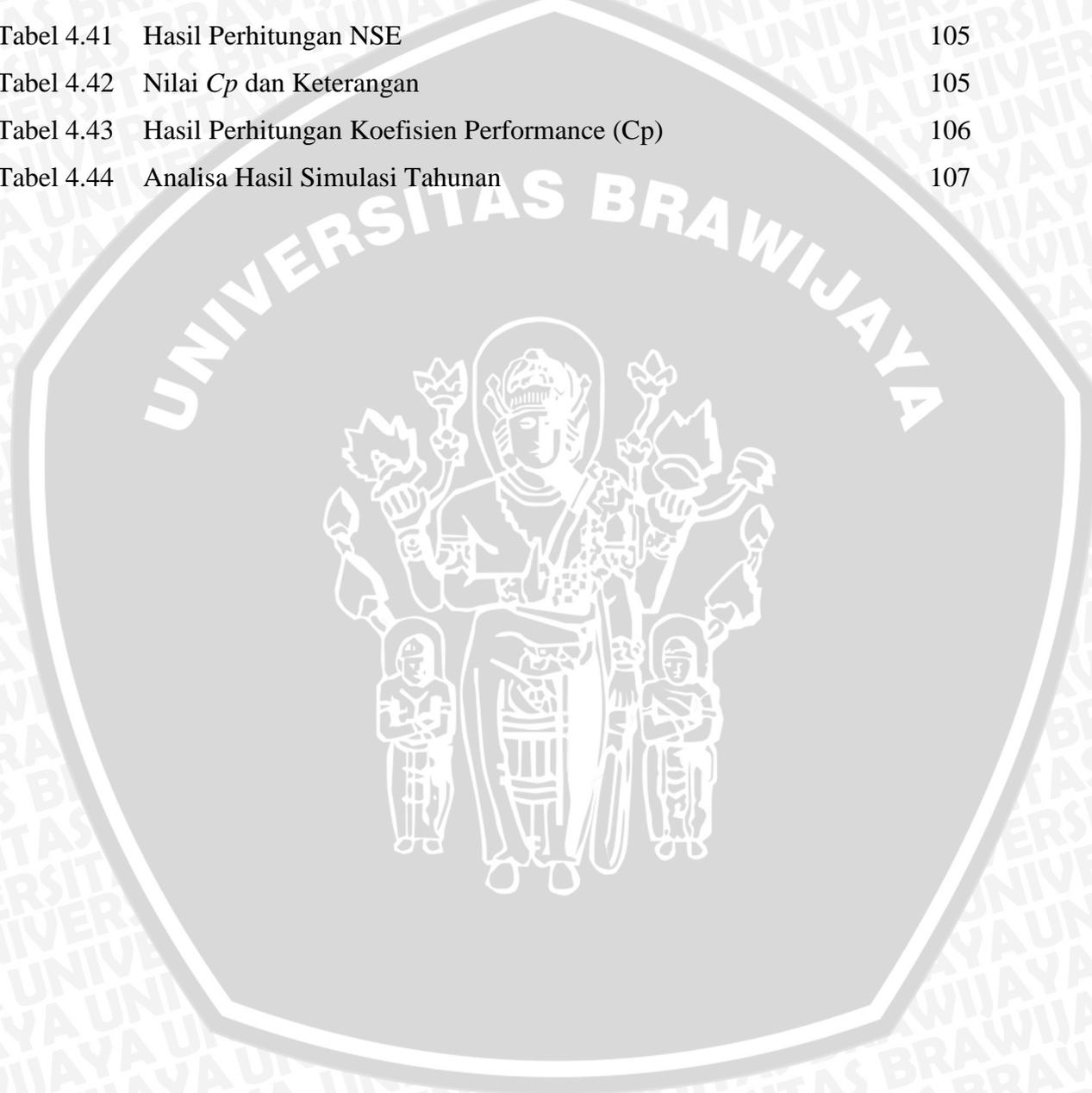


DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n}	9
Tabel 2.2	Nilai U dan A	10
Tabel 2.3	Klasifikasi Struktur Tanah	23
Tabel 2.4	Klasifikasi Ukuran Partikel Struktur Tanah	23
Tabel 2.5	Klasifikasi Permeabilitas	24
Tabel 2.6	Nilai C Untuk Berbagai Jenis Tanah dan Pengelolaan Tanaman	26
Tabel 2.7	Nilai Faktor C pada Berbagai Aktivitas Konservasi Tanah di Pulau Jawa	28
Tabel 2.8	Pembagian Kelompok Hidrologi Tanah	49
Tabel 2.9	Bilangan Kurva Air Larian (CN) Untuk Kondisi Hujan Awal II pada Tanah Pertanian yang Ditanami	50
Tabel 2.10	Bilangan Kurva Air Larian (CN) Untuk Kondisi II pada Tanah Pertanian yang lain	51
Tabel 2.11	Angka Kekasaran <i>Manning</i> (n) untuk Aliran di Lahan	53
Tabel 2.12	Nilai C_p dan Keterangan	59
Tabel 4.1	Lokasi Stasiun Hujan Cakarayam	73
Tabel 4.2	Uji konsistensi curah hujan stasiun Cakarayam	73
Tabel 4.3	Data hujan bulanan stasiun cakarayam	74
Tabel 4.4	Uji F rata-rata hujan tahunan	74
Tabel 4.5	Uji F rata-rata hujan bulanan	75
Tabel 4.6	Uji F data hujan bulanan stasiun hujan Cakarayam	75
Tabel 4.7	Contoh perhitungan susunan data hujan bulanan stasiun hujan cakarayam pada bulan Januari	77
Tabel 4.8	Input pengolahan data hujan Stasiun Cakarayam	79
Tabel 4.9	Sebaran Tataguna Lahan Daerah Studi	79
Tabel 4.10	Sebaran Jenis Tanah Daerah Studi	80
Tabel 4.11	Contoh data (*.dbf) peta tata guna lahan	82
Tabel 4.12	Contod data (*.dbf) peta jenis tanah	82
Tabel 4.13	Data Jenis Tanah Sub DAS Manting dan Nilai K	83
Tabel 4.14	Data Tata Guna Lahan Eksisting Sub DAS Manting	83
Tabel 4.15	Nilai CN II C untuk masing-masing penutup lahan	84
Tabel 4.16	Angka Kekasaran Manning untuk aliran di sungai	84

Tabel 4.17	Angka Kekasaran Manning untuk aliran di lahan	85
Table 4.18	Contoh format data lokasi stasiun hujan harian	88
Tabel 4.19	Contoh format data hujan harian stasiun cakarayam	88
Tabel 4.20	Contoh format data lokasi stasiun temperatur harian	89
Table 4.21	Contoh format data temperatur harian stasiun karangploso	89
Table 4.22	Contoh format data lokasi stasiun cuaca untuk simulasi	89
Table 4.23	Hasil simulasi debit AVSWAT 2000 sebelum kalibrasi	92
Tabel 4.24	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	94
Tabel 4.25	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	95
Tabel 4.26	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	95
Tabel 4.27	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	96
Tabel 4.28	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	96
Tabel 4.29	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	97
Tabel 4.30	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	98
Tabel 4.31	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	98
Tabel 4.32	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	98
Tabel 4.33	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	99
Tabel 4.34	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	99
Tabel 4.35	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	100
Tabel 4.36	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT	100
Tabel 4.37	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan	

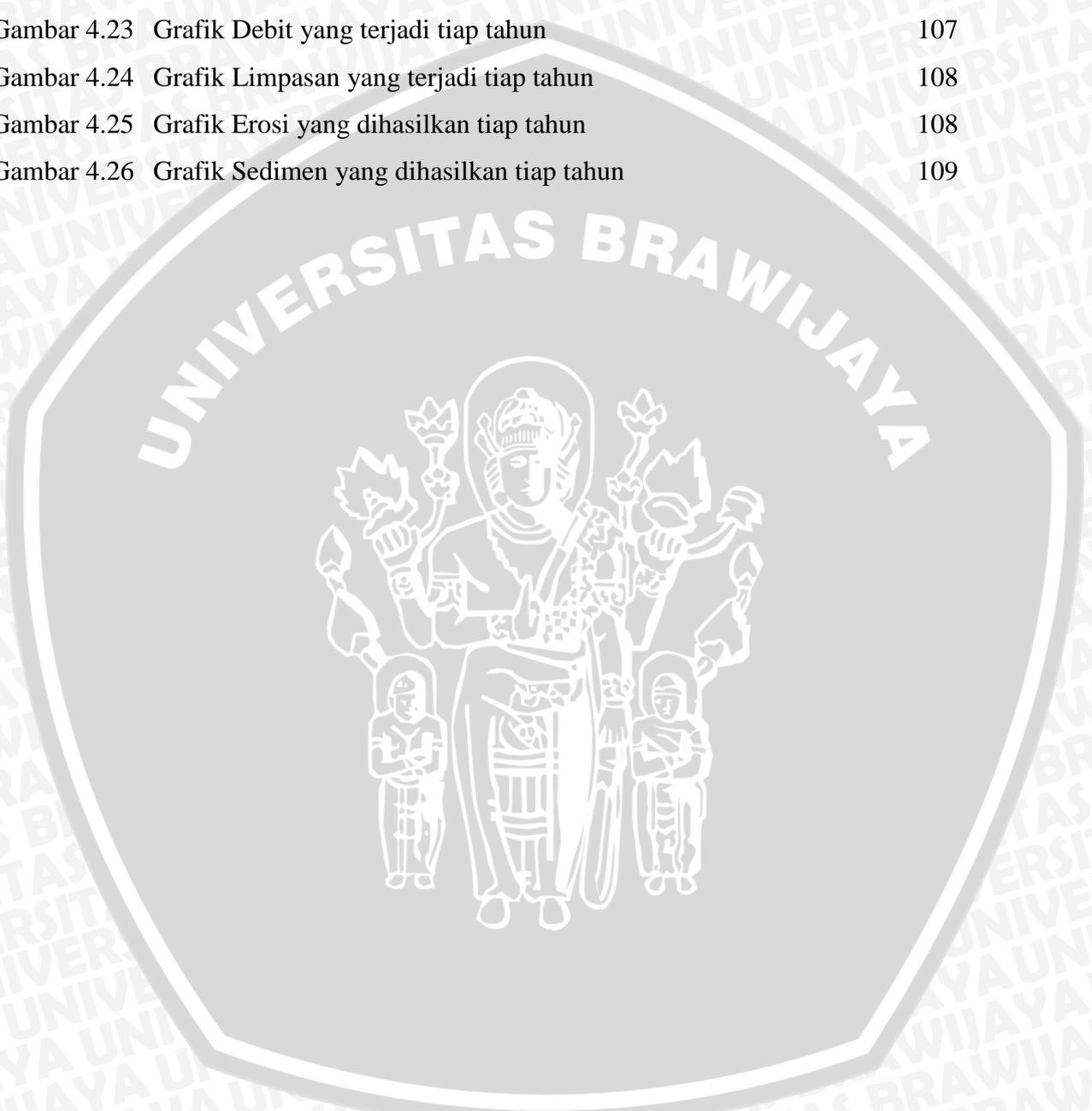
	AVSWAT	100
Tabel 4.38	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan	
	AVSWAT	100
Tabel 4.39	Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan	
	AVSWAT	100
Tabel 4.40	Hasil Simulasi Debit AVSWAT sesudah kalibrasi	102
Tabel 4.41	Hasil Perhitungan NSE	105
Tabel 4.42	Nilai C_p dan Keterangan	105
Tabel 4.43	Hasil Perhitungan Koefisien Performance (C_p)	106
Tabel 4.44	Analisa Hasil Simulasi Tahunan	107



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Siklus Hidrologi	5
Gambar 2.2.	Komponen-komponen Ekosistem DAS Hulu	6
Gambar 2.3.	Fungsi Ekosistem DAS	6
Gambar 2.4.	Poligon Thiessen	14
Gambar 2.5.	Subsistem-subsistem SIG	34
Gambar 2.6.	Uraian Subsistem-subsistem SIG	35
Gambar 2.7.	Bentuk Data Vektor dan Raster	36
Gambar 2.8.	Model Struktur Data Dalam AVSWAT	41
Gambar 2.9.	Fase Penelusuran Siklus Hidrologi di Lahan	43
Gambar 3.1.	Lokasi Studi	60
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penyelesaian Skripsi	65
Gambar 3.3.	Diagram Alir Penyelesaian Perhitungan Prediksi Erosi, Sedimen dan Limpasan Permukaan Menggunakan Model AVSWAT 2000	66
Gambar 3.4	Peta Sub DAS Manting	67
Gambar 4.1	Tampilan proses editing	69
Gambar 4.2	Tampilan CAD2Shape	69
Gambar 4.3	Tampilan DEM dalam format <i>grid</i>	70
Gambar 4.4	Tampilan hasil pendefinisian sungai dan outlet	71
Gambar 4.5	Tampilan hasil pendefinisian batas DAS dan Sub DAS	72
Gambar 4.6	Sebaran Tataguna Lahan Sub DAS Manting	80
Gambar 4.7	Sebaran Jenis Tanah Sub DAS Manting	81
Gambar 4.8	<i>Land cover/plant growth database</i>	82
Gambar 4.9	<i>Usersoils database</i>	83
Gambar 4.10	<i>HRU distribution (dominant)</i>	86
Gambar 4.11	<i>HRU Distribution (multiple)</i>	86
Gambar 4.12	Tampilan <i>Management Data (mgt)</i>	87
Gambar 4.13	Input Weather Station	88
Gambar 4.14	Set Up Running SWAT Periode 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010	90
Gambar 4.15	Output AVSWAT 2000	91
Gambar 4.16	Grafik Debit Terhadap Data Terukur	92
Gambar 4.17	Posisi dari Parameter HRU Data, GW Data, dan Sol Data	93

Gambar 4.18	Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D, E, dan F pada Skenario I	97
Gambar 4.19	Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D dan E pada Skenario II	99
Gambar 4.20	Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D dan E pada Skenario III	101
Gambar 4.21	Grafik Debit Terhadap Data Terukur	103
Gambar 4.22	Uji korelasi analisis regresi	104
Gambar 4.23	Grafik Debit yang terjadi tiap tahun	107
Gambar 4.24	Grafik Limpasan yang terjadi tiap tahun	108
Gambar 4.25	Grafik Erosi yang dihasilkan tiap tahun	108
Gambar 4.26	Grafik Sedimen yang dihasilkan tiap tahun	109



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah wilayah/daerah penerima air hujan yang dibatasi oleh punggung bukit atau gunung, dimana semua curah hujan yang jatuh di atasnya akan mengalir di sungai utama dan akhirnya bermuara ke laut. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai harus senantiasa memperhatikan kaidah-kaidah pengelolaan sumber daya alam dan keseimbangan ekosistem. Manusia merupakan salah satu komponen ekosistem. Dalam kehidupan sehari-hari, manusia melakukan berbagai bentuk aktivitas. Aktivitas manusia yang begitu dinamis mengakibatkan dampak pada suatu komponen lingkungan lainnya. Hal ini menunjukkan suatu hubungan timbal balik yang seharusnya seimbang, jika tidak terjadi keseimbangan maka akan menimbulkan permasalahan yang terjadi akhir-akhir ini, seperti banjir dan tanah longsor.

Pertumbuhan penduduk yang pesat dan sempitnya lahan pertanian menuntut adanya perluasan lahan. Kebutuhan akan perluasan lahan mengakibatkan terjadinya perambahan hutan secara besar-besaran semenjak krisis ekonomi yang melanda Indonesia. Perambahan hutan yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi mendorong terjadinya masalah degradasi lingkungan seperti banjir dan kekeringan.

Banjir dan kekeringan merupakan permasalahan yang sering terjadi di Indonesia dan menjadi topik hangat yang dibicarakan sekarang ini. Berdasarkan kenyataan yang pernah dialami, yaitu pada bulan Februari tahun 2004 telah terjadi banjir bercampur lumpur di Kabupaten Mojokerto dan mengakibatkan kerusakan parah pada prasarana jalan, jembatan, bangunan pengairan dan daerah pemukiman (Radar Mojokerto, 23 Februari 2004). Kerusakan tersebut terjadi terutama pada lokasi dengan keadaan geologi, morfologi, hidrologi dan klimatologi yang kurang menguntungkan. Hal ini juga diakibatkan menurunnya kemantapan suatu lereng akibat degradasi tanah atau batuan bersamaan dengan waktu dan usianya.

Beberapa usaha untuk menanggulangi masalah banjir dan tanah longsor sudah dilakukan tetapi akan terasa percuma apabila tidak memperhatikan sistem konservasi yang dapat mendorong terjadinya erosi yang berlebihan, sehingga menimbulkan dampak di daerah hilir dalam bentuk pendangkalan sungai karena pengendapan sedimen yang berasal dari erosi.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada bulan Februari 2004 terjadi banjir bercampur lumpur di Kabupaten Mojokerto yang mengakibatkan kerusakan parah pada prasarana jalan, jembatan, bangunan pengairan dan daerah pemukiman. Salah satu faktor yang menyebabkan bencana tersebut adalah kurangnya monitoring di DAS, sehingga bencana tersebut tidak dapat dideteksi lebih dini.

Sub DAS Manting merupakan bagian dari DAS Brangkal di Kabupaten Mojokerto. Pada kenyataannya DAS Brangkal merupakan DAS yang tidak terukur dengan baik terutama dalam pencatatan data debit dan sedimen. Oleh karena itu dibutuhkan suatu model hidrologi untuk pendugaan erosi, sedimen dan limpasan permukaan di Sub DAS Manting.

Pada studi ini pendugaan erosi, sedimen dan limpasan permukaan di Sub DAS Manting menggunakan model hidrologi AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*). Pendugaan model AVSWAT ini sangat penting dilakukan mengingat terbatasnya ketersediaan data erosi, sedimen dan limpasan permukaan di Sub DAS Manting. Dengan demikian diharapkan hasil studi ini dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan Sub DAS Manting.

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan pembahasan pada studi ini, maka perlu dibatasi permasalahannya. Adapun batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut:

1. Lokasi studi adalah Sub DAS Manting, Kabupaten Mojokerto.
2. Pendugaan sedimen menggunakan model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) sedangkan pendugaan erosi menggunakan metode *MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation)*.
3. Perangkat lunak yang dipakai adalah *AVSWAT 2000* dan *ArcView GIS 3.3*.
4. Data hujan diambil dari Sub DAS Manting, Mojokerto, Jawa Timur yang berupa data harian selama 10 tahun dari tahun 2001 – 2010, sedangkan data debit hanya diambil pada tahun 2010.
5. Tidak membahas tentang penyusunan dasar program *AVSWAT 2000*, namun teori akan dijelaskan.
6. Kalibrasi model dilakukan dengan jalan membandingkan antara data hujan dengan data pengukuran dilapangan.
7. Rumus-rumus empiris yang digunakan dalam perhitungan dianggap umum dan sudah teruji kebenarannya.

8. Tidak membahas aspek analisa dampak lingkungan, analisa ekonomi dan sosial budaya masyarakat.

1.4 Rumusan Masalah

Dari batasan masalah di atas, maka masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapakah besarnya pendugaan erosi, sedimen dan limpasan permukaan dengan model AVSWAT (*Arc View Soil And Water Assessment Tool*)?
2. Bagaimana tingkat akurasi hasil pemodelan AVSWAT 2000?

1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah:

1. Untuk menduga besarnya erosi, sedimen dan limpasan permukaan di Sub DAS Manting.
2. Mengetahui kesesuaian data hasil pemodelan AVSWAT 2000 dengan data lapangan.

Sedangkan manfaat yang diharapkan dari hasil studi ini adalah sebagai referensi untuk pihak-pihak terkait dan memperkenalkan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan perangkat lunak (*software*) AVSWAT 2000 untuk menyelesaikan masalah pengelolaan sumber daya air khususnya dalam masalah erosi, sedimen dan limpasan permukaan di DAS dan di dalam sungai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrologi dan Pengelolaan DAS

Hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam. Meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah (Soemarto, 1987: 15).

2.1.1 Daur Hidrologi

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1987: 17).

Dalam daur hidrologi, energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya menyebabkan terjadinya proses evaporasi pada permukaan vegetasi dan tanah, di laut atau badan-badan air lainnya. Uap air sebagai hasil proses evaporasi akan terbawa oleh angin melintasi daratan yang bergunung maupun datar, dan apabila keadaan atmosfer memungkinkan, sebagian dari uap air tersebut akan terkondensasi dan turun sebagai air hujan.

Air yang merembes ke dalam tanah (infiltrasi) memberi hidup kepada tumbuh-tumbuhan dan beberapa diantaranya naik ke atas melewati akar dan batang, sehingga terjadi proses transpirasi, yaitu evaporasi (penguapan) lewat tumbuh-tumbuhan melalui bagian bawah daun.

Air yang tertahan di permukaan tanah (*surface detention*) sebagian diuapkan dan sebagian besar mengalir masuk kesungai-sungai kecil dan mengalir sebagai limpasan permukaan (*surface runoff*) ke dalam palung sungai.

Permukaan sungai dan danau juga mengalami penguapan (evaporasi), sehingga masih ada air yang dipindahkan menjadi uap. Akhirnya sisa air yang tidak diinfiltrasikan atau diuapkan akan kembali ke laut lewat palung sungai. Air tanah jauh lebih lambat Bergeraknya, baik yang bergerak masuk ke dalam palung sungai atau yang merembes ke pantai dan masuk ke laut. Dengan demikian seluruh daur telah dijalani dan akan berulang kembali (Soemarto, 1987: 19). Secara alamiah daur hidrologi ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.1. Siklus Hidrologi

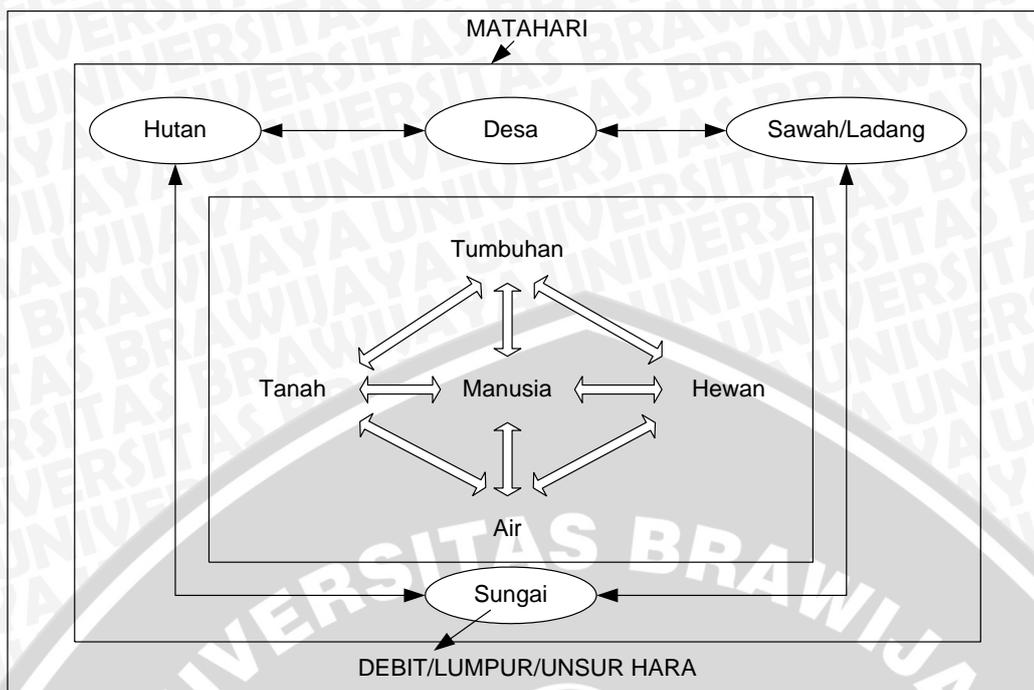
Dalam siklus hidrologi seperti dalam gambar di atas terdapat hubungan antara empat macam proses dalam daur hidrologi yang harus dipelajari, yaitu:

1. Presipitasi
2. Evaporasi
3. Infiltrasi
4. Limpasan permukaan (*surface runoff*) dan limpasan air tanah (*subsurface runoff*)

2.1.2 Ekosistem DAS

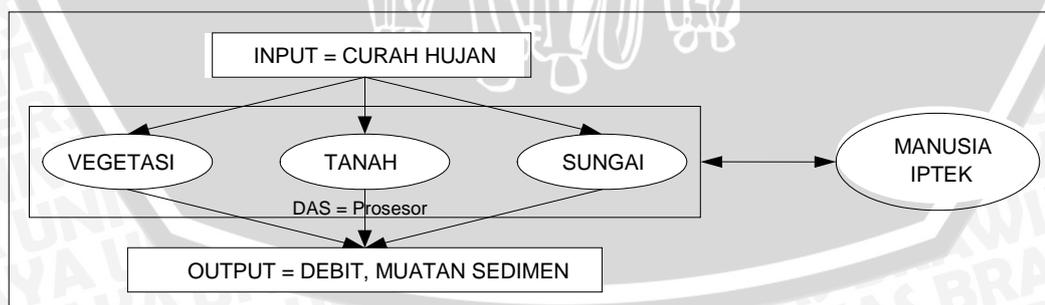
Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya melalui sungai utama.

Daerah aliran sungai juga dapat dianggap sebagai suatu ekosistem, karena ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terdiri atas komponen-komponen yang saling berintegrasi sehingga membentuk suatu kesatuan. Ekosistem terdiri atas komponen biotis dan abiotis yang saling berinteraksi membentuk satu kesatuan yang teratur. Aktivitas suatu komponen ekosistem selalu memberi pengaruh pada komponen ekosistem yang lain. Manusia adalah salah satu komponen yang penting. Sebagai komponen yang dinamis, manusia dalam menjalankan aktivitasnya seringkali mengakibatkan dampak pada salah satu komponen lingkungan, dan dengan demikian mempengaruhi ekosistem secara keseluruhan. Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa adanya hubungan timbal balik antar komponen ekosistem DAS, maka apabila terjadi perubahan pada salah satu komponen lingkungan, ia akan mempengaruhi komponen-komponen yang lain. Komponen-komponen tersebut akan mempengaruhi keseluruhan sistem ekologi di daerah tersebut.



Gambar 2.2 Komponen-komponen Ekosistem DAS Hulu
(Sumber: Asdak, 2007: 16)

Ekosistem DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS. Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata air. Sehingga DAS hulu seharusnya menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS mengingat bahwa dalam suatu DAS, daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi. Pada gambar 2.3 menunjukkan proses yang berlangsung dalam suatu ekosistem DAS, dimana *input* berupa curah hujan sedangkan *output* berupa debit aliran atau muatan sedimen. Curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, vegetasi dan aktivitas manusia mempunyai peranan penting untuk berlangsungnya proses erosi-sedimentasi.



Gambar 2.3 Fungsi Ekosistem DAS
(Sumber: Asdak, 2007: 18)

2.2 Analisa Hidrologi

2.2.1 Presipitasi

Presipitasi adalah istilah umum untuk menyatakan uap air yang mengkondensasi dan jatuh dari atmosfer ke bumi dalam segala bentuknya dalam rangkaian siklus hidrologi. Jika air yang jatuh berbentuk cair disebut hujan (*rainfall*) dan jika berupa padat disebut salju (*snow*).

Hujan merupakan faktor terpenting dalam analisis hidrologi. Analisis dan desain hidrologi tidak hanya memerlukan volume atau ketinggian hujan, tetapi juga distribusi hujan terhadap tempat dan waktu. Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perencanaan hidrologi meliputi (Suripin, 2003: 23):

1. Intensitas i adalah laju hujan = tinggi air persatuan waktu.
2. Lama waktu (durasi) t , adalah panjang waktu dimana hujan turun dalam menit atau jam.
3. Tinggi hujan d , adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar dan dalam mm.
4. Frekuensi adalah frekuensi kejadian dan biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return period*) T .
5. Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan.

Hubungan antara intensitas, durasi dan tinggi hujan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$d = \int_0^t i dt = \sum_0^t i \times \Delta t \quad (2-1)$$

sedangkan intensitas rata-rata \bar{i} dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{i} = \frac{d}{t} \quad (2-2)$$

2.2.2 Stasiun Hujan

Stasiun hujan yang digunakan untuk menghitung curah hujan rancangan yang digunakan dalam studi ini diambil dari stasiun hujan yang terdekat dengan lokasi dan diasumsi mempunyai karakteristik hujan dan kondisi klimatologi yang mendekati kondisi lokasi studi. Berdasarkan kriteria pemilihan stasiun di atas, maka stasiun hujan yang diambil adalah stasiun hujan cakar ayam.

2.2.3 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Uji konsistensi berarti menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengiriman atau saat pengukuran, data tersebut harus betul-betul menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Dengan kata lain data hidrologi disebut tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995: 23). Data hujan disebut konsistensi berarti data yang terukur dan dihitung adalah teliti dan benar sesuai dengan fenomena saat hujan itu terjadi (Soewarno, 2000: 199).

Pengecekan kualitas data merupakan keharusan sebelum data hidrologi diproses. Pengecekan dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan:

1. Inspeksi ke lapangan
2. Perbandingan hidrograf
3. Analisis kurva masa ganda

Umumnya dilakukan dengan analisis kurva masa ganda, dengan menggambarkan besaran hujan kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran hujan kumulatif rata-rata hujan dari beberapa stasiun referensi disekitarnya. Ketidakpanggaan data ditunjukkan dengan penyimpangan garisnya dari garis lurus. Hal ini masih sering menimbulkan keraguan. Kesulitan yang lain adalah ketidakyakinan akan prosedur itu sendiri, karena dalam satu DAS suatu stasiun akan berfungsi ganda yaitu sebagai stasiun yang diuji dan stasiun referensi pada pengujian lain (Harto, 1993: 266).

Alat penguji lain adalah menguji ketidakpanggaan data suatu stasiun dengan data dari stasiun itu sendiri, dengan mendeteksi penggeseran nilai rata-rata (*mean*). Cara ini lebih dapat diterima diantaranya adalah *Von Neumann Test*, *Rescaled Adjusted Partial Sum (RAPS)*, *Weighted Adjusted Partial Sum*, *Worsley Test* dan *Buishand Test*. Salah satu cara klasik adalah *Von Neumann Ratio* dalam persamaan (Harto, 1993: 59):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2 - 3)$$

Data dikatakan pangah apabila nilai $E(N) = 2$

Buishand (1982) memperkenalkan cara *cumulative deviation*, yaitu nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata (*mean*) dengan:

$$S_0^* = 0, S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})^2, k = 1, \dots, n \quad (2 - 4)$$

Nilai $S_n^* = 0$ untuk data homogen, maka nilai S_k^* berkisar nol. Karena tidak terdapat kesalahan sistematik pada nilai Y_i terhadap nilai \bar{Y} rata-rata. Oleh sebab itu S_k^* (harga mutlak) dapat digunakan sebagai indikator terjadinya perubahan atau ketidakpanggaan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) Buishand 1982.

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy}, \text{ dengan } k = 0, 1, \dots, n \quad (2-5)$$

$$Dy^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / n \quad (2-6)$$

Nilai statistik Q $\rightarrow Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad (2-7)$

Nilai statistik R (*range*)

$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} \quad (2-8)$$

Dengan:

S_0^* = simpangan awal

S_k^* = simpangan mutlak

S_k^{**} = nilai konsistensi data

n = jumlah data

Dy = simpangan rata-rata

Q = nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$

R = nilai statistik (*range*)

Nilai statistik Q dan R diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n}

N	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1,05	1,14	1,29	1,21	1,28	1,38
20	1,1	1,22	1,42	1,34	1,43	1,6
30	1,12	1,24	1,46	1,4	1,5	1,7
40	1,13	1,26	1,5	1,42	1,53	1,74
50	1,14	1,27	1,52	1,44	1,55	1,78
100	1,17	1,29	1,55	1,5	1,62	1,86
	1,22	1,36	1,63	1,62	1,75	2

Sumber: Harto, 1993: 60

Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan WAPS (*Weighted Adjusted Partial Sums*) Buishand (1982).

$$Z_k^* = [k(n - k)]^{-0,5} S_k^*; k = 1, 2, \dots, n - 1 \quad (2 - 9)$$

$$Z_k^{**} = \frac{Z_k^*}{Dy} \quad (2 - 10)$$

$$V = \max_{1 \leq k \leq n-1} |Z_k^{**}| \quad (2 - 11)$$

Statistik ini dapat disajikan dalam persamaan:

$$W = (n - 2)^{0,5} V / (1 - V^2)^{0,5} \quad (2 - 12)$$

Dengan W adalah nilai Worsley's test:

$$W = \max_{1 \leq k < n-1} |t_k| \quad (2 - 13)$$

Dengan t_k adalah nilai 'Student' s t' untuk membedakan nilai rata-rata dari k sample k yang pertama dan sample $(n-k)$ terakhir. Pengujian 'V' berarti sama dengan pengujian 'W'.

Pengujian lain dengan cara 'Bayesian'. Uji statistik yang dapat digunakan adalah:

$$U = \sqrt{\{n(n+1)\} \sum_{k=1}^{n-1} (S_k^{**})^2} \quad (2 - 14)$$

$$A = (Z_k^{**})^2 \quad (2 - 15)$$

Nilai U dan A yang besar menunjukkan kecenderungan penyimpangan dari kepanggaan data. Nilai statistik U dan A disajikan dalam tabel berikut ini. Sebelum pemakaian cara ini sebaiknya dilakukan pengujian sebagai sarana pengujian silang.

Tabel 2.2. Nilai U dan A

N	U			A		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	0,336	0,414	0,575	1,9	2,31	3,14
20	0,343	0,447	0,662	1,93	2,44	3,5
30	0,344	0,444	0,691	1,92	2,42	3,7
40	0,341	0,448	0,693	1,91	2,44	3,66
50	0,342	0,452	0,718	1,92	2,48	3,78
100	0,341	0,457	0,712	1,92	2,48	3,82
	0,347	0,461	0,743	1,93	2,49	3,86

Sumber: Harto, 1993: 62

Dalam beberapa pengujian banding, cara-cara yang disebutkan di atas memberikan hasil yang sama dengan cara pertama, selain keuntungan lain dapat menghindarkan

kemungkinan ketidakpangghahan data hujan stasiun-stasiun referensi (Harto, 1993: 62). Dalam studi ini dilakukan dengan metode RAPS.

2.2.3.1 Pemeriksaan *Outlier* (Data di luar Ambang Batas)

Outlier adalah data yang menyimpang cukup jauh dari trend kelompoknya. Keberadaan *outlier* biasanya dianggap mengganggu pemilihan jenis distribusi suatu sample data, sehingga *outlier* ini perlu dibuang. Uji Grubbs dan Beck (Chow, 1987: 403, dalam Rhanty, 2004: 8) menetapkan dua batas ambang X_L dan X_H sebagai berikut:

$$X_H = \bar{x} - K_n \cdot S$$

$$X_L = \bar{x} - K_n \cdot S$$

(2 – 16)

Dengan:

X_H = nilai ambang batas

X_L = nilai ambang bawah

\bar{x} = nilai rata-rata

S = simpangan baku dari logaritma terhadap sample

K_n = besaran yang tergantung pada jumlah sampel data

n = jumlah sampel data

Data yang nilainya di luar X_L dan X_H diklasifikasikan sebagai *outlier*.

2.2.4 Uji Homogenitas Data

Perlu dipastikan tentang keandalan data sebelum dilakukan perhitungan dan analisis. Untuk itu dilakukan pengujian-pengujian secara statistik. Pengujian dilakukan untuk memastikan ketepatannya agar hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

Pengujian statistik lebih ditunjukkan untuk menguji parameter-parameternya, antara lain dapat dilakukan dengan membandingkan rerata, variansi, kovariansi, korelasi dan sebagainya. Sedangkan pada pengujian suatu fungsi, diuji keandalan parameter-parameter yang membentuk fungsi tersebut.

Hipotesa yang dirumuskan dengan harapan untuk ditolak disebut hipotesa nol atau dinyatakan dengan H_0 . Penolakan H_0 mengakibatkan penerimaan hipotesa alternatif yaitu H_1 . Salah satu analisa variansi yang dapat digunakan di sini adalah:

1. Uji F (*Fisher Test*)

Uji F analisis pada dasarnya adalah menghitung F score, lalu membandingkan dengan F tabel. Yang diuji adalah ketidaktergantungan (*independence*) atau keseragaman (*homogenitas*). Uji analisa variansi dapat bersifat satu arah atau dua arah.

Prinsip uji hipotesis ini adalah membandingkan variansi gabungan antara kelompok sampel (*variance between group*) dengan varian kombinasi seluruh kelompok.

$$F \text{ hitung} = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \quad (S_1^2 > S_2^2)$$

$$F \text{ hitung} = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \quad (S_1^2 < S_2^2) \quad (2 - 17)$$

Dimana:

$$S_1^2 = \text{variansi sampel 1 (debit historis)} = \frac{n_1 S d_1^2}{n_1 - 1}$$

$$S_2^2 = \text{variansi sampel 2 (debit sintetis)} = \frac{n_2 S d_2^2}{n_2 - 1}$$

$$\text{Harga F kritis} = (n_1 - 1, n_2 - 1)$$

Dimana:

$$n_1 = \text{jumlah sampel 1 (debit historis)}$$

$$n_2 = \text{jumlah sampel 2 (debit sintetis)}$$

Ho diterima jika harga F hitung < F kritis

Ho ditolak jika harga F hitung > F kritis

Untuk pengaman selanjutnya akan digunakan uji F dengan analisa variansi yang bersifat dua arah dengan hipotesa sebagai berikut:

Hipotesa 1 : Ho = hujan homogen dari bulan ke bulan

H₁ = hujan tidak homogen dari bulan ke bulan

Hipotesa 2 : Ho = hujan homogen dari tahun ke tahun

H₁ = hujan tidak homogen dari tahun ke tahun

Ada 2 F score dihitung dengan rumus-rumus berikut:

$$F_1 = \frac{(n - 1) \sum_{i=1}^k n (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2} \quad (2 - 18)$$

$$F_1 = \frac{(k - 1) \sum_{i=1}^n k (\bar{x}_j - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i - \bar{x}_j + \bar{x})^2} \quad (2 - 19)$$

Dimana:

\bar{x}_i = harga rata-rata untuk bulan j

\bar{x}_j = harga rata-rata untuk tahun j

\bar{x} = harga rata-rata untuk keseluruhan

\bar{x}_{ij} = pengamatan untuk bulan j pada tahun j

n = banyak pengamatan perbulan (tahun)

k = banyak bulan

2. Uji T

Uji T termasuk jenis uji untuk sampel kecil. Sampel kecil adalah dimana ukuran sampel $n < 30$. Untuk mengetahui apakah 2 sampel x_1 dan x_2 berasal dari populasi yang sama, maka dihitung t score dengan rumus:

$$t = \frac{[\bar{x}_1 - \bar{x}_2]}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (2 - 20)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(N_1 - 1)s_1^2 + (N_2 - 1)s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2 - 21)$$

Dimana:

\bar{x}_1 = rerata dari sampel x_1

\bar{x}_2 = rerata dari sampel x_2

s_1 = simpangan baku dari sampel x_1

s_2 = simpangan baku dari sampel x_2

N_1 = ukuran dari sampel x_1

N_2 = ukuran dari sampel x_2

Hipotesa:

H_0 : sampel x_1 dan x_2 berasal dari populasi yang sama

H_1 : sampel x_1 dan x_2 tidak berasal dari populasi yang sama

Harga t tabel dicari pada tabel *distribution student's* untuk derajat bebas

$v = N_1 + N_2 - 2$ dan $\alpha = (\text{level of significance})$ misal 5%. Apabila t score, $< t$ tabel, maka H_0 diterima dan jika sebaliknya maka H_0 ditolak.

2.2.5 Curah Hujan Rerata Daerah (*Areal Rainfall*)

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau satu titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau disekitar kawasan tersebut (Suripin, 2003: 26).

Dalam studi ini metode yang digunakan untuk menghitung hujan rata-rata kawasan adalah metode polygon thiessen. Metode ini dikenal juga sebagai metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan

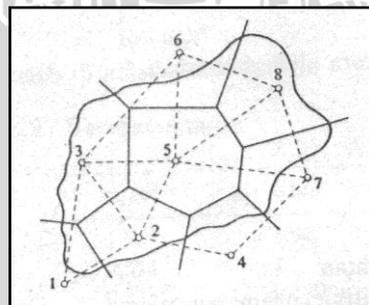
menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat (Suripin, 2003: 27).

Prosedur penerapan metode ini meliputi langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
2. Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk Poligon Thiessen (gambar 2.4). Semua titik dalam satu polygon akan mempunyai jarak terdekat dengan pos penakar yang ada di dalamnya dibandingkan dengan jarak terhadap pos lainnya. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam polygon yang dianggap bersangkutan.
3. Luas areal pada tiap-tiap polygon dapat diukur dengan planimeter dan luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan polygon.
4. Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \dots + P_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2 - 22)$$

dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n. A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas areal polygon 1, 2, ..., n. n adalah banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2.4 Poligon Thiessen
(Sumber: Suripin, 2004: 28)

2.2.6 Evaporasi dan Evapotranspirasi

2.2.6.1 Definisi

Peristiwa berubahnya air menjadi uap dan bergerak dari permukaan tanah dan permukaan air ke udara disebut evaporasi. Peristiwa penguapan dari tanaman disebut transpirasi. Kedua proses tersebut evaporasi dan transpirasi saling berkaitan sehingga

dinamakan evapotranspirasi. Jika air yang tersedia dalam tanah cukup banyak maka evapotranspirasi itu disebut evapotranspirasi-potensial.

Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan komsumtif (*comsumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain. Sedangkan evapotranspirasi merupakan faktor dasar untuk menentukan kebutuhan air dalam rencana irigasi dan merupakan proses yang penting dalam siklus hidrologi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi dan evapotranspirasi adalah suhu air, suhu udara (atmosfir), kelembaban, kecepatan angin, tekanan udara, sinar matahari dan lain-lain yang saling berhubungan satu sama lain. Pada waktu pengukuran evaporasi, maka kondisi atau keadaan ketika itu harus diperhatikan, mengingat faktor itu sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan. Kondisi-kondisi itu tidak merata di seluruh daerah. Umpamanya di bagian yang satu disinari matahari sedangkan di bagian yang lain berawan (Sosrodarsono, S. 2006: 57).

2.2.6.2 Perhitungan Besarnya Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan proses penting dalam siklus hidrologi, oleh sebab itu telah banyak cara penentuannya yang telah diadakan, antara lain dengan cara menggunakan rumus-rumus perhitungan, cara pengukuran dengan menggunakan lysimeter, cara perkiraan banyaknya evaporasi dari panci evaporasi dan lain-lain. Pada studi ini nilai evapotranspirasi didapatkan dari dalam persamaan yang diberikan Penman-Monteith (1965) yang digunakan sebagai standar FAO untuk menghitung evapotranspirasi potensial.

Perhitungan Evapotranspirasi (E) yang diberikan Penman-Monteith menurut Smith (1991) dalam Soewarno (2000: 163) adalah:

$$ET_o = \frac{\delta * \frac{Rn}{L} + \tau \left[\left(\frac{900}{T_k} \right) \times U_s \times (e_s - e_a) \right]}{\delta + \tau(1 + 0,34 \times U_2)} \quad (2 - 23)$$

Nilai Rn pada persamaan 2-22 dihitung dengan rumus:

$$Rn = Ra(1 - \alpha) \left(0,25 + 0,5 \cdot \frac{n}{N} \right) - \beta \cdot Tk^4 (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(0,1 + 0,9 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (2 - 24)$$

Dari persamaan 2-22 dan 2-23, maka nilai:

$$e_s = 0,611 \exp[17,27T / (T + 237,3)] \quad (2 - 25)$$

$$e_a = e_s \times Rh \quad (2 - 26)$$

$$\delta = 4089 \times \frac{e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (2 - 27)$$

$$L = 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T \quad (2 - 28)$$

Dimana:

- ET_0 = evapotranspirasi rujukan (mm/hari)
 δ = kemiringan kurva tekanan uap terhadap temperatur (kPa/°C)
 L = panas laten untuk penguapan (Mj/kg)
 τ = konstanta psikometrik = 0,06466 kPa/°C
 R_n = radiasi bersih (Mj/m²/hari)
 U_2 = kecepatan angin pada tinggi 2 meter (m/detik)
 e_a = tekanan uap aktual (kPa)
 e_s = tekanan uap jenuh (kPa)
 R_h = kelembaban relatif (%)
 R_a = radiasi teresterial (mm/hari)
 α = albedo (untuk air = 5%)
 n/N = durasi penyinaran matahari relatif (%)
 β = konstanta Stefan-Boltzman = $4,90 \times 10^{-9}$ MJ/m²/K⁴/hari
 T_k = temperature udara (°K), (°K = 273,15 + °C)
 900 = konstanta (kg°K/kJ)

Proses perhitungan evapotranspirasi dengan pendekatan Penman-Monteith ini dilakukan dengan bantuan *Software AVSWAT 2000* dalam SIG.

2.3 Erosi

Erosi adalah suatu peristiwa hilang atau terkikisnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat yang terangkut ke tempat lain, baik disebabkan oleh pergerakan air atau angin (Arsyad, 1983). Proses hidrologi secara langsung dan tidak langsung akan berhubungan dengan terjadinya erosi, transport sedimen, deposisi sedimen di daerah hilir, serta mempengaruhi karakteristik fisik, biologi dan kimia. Terjadinya erosi ditentukan oleh faktor-faktor iklim (intensitas hujan), topografi, karakteristik tanah, vegetasi penutup tanah dan tata guna lahan.

2.3.1 Proses Erosi

Dua penyebab utama terjadinya erosi adalah erosi karena sebab alamiah dan erosi karena aktivitas manusia. Erosi alamiah dapat terjadi karena proses pembentukan tanah dan proses erosi yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Erosi karena faktor alamiah umumnya masih memberikan media yang memadai untuk

berlangsungnya pertumbuhan kebanyakan tanaman. Erosi karena kegiatan manusia kebanyakan disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain pembuatan jalan di daerah dengan kemiringan lereng besar.

Proses erosi bermula dengan terjadinya penghancuran agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Pada saat hujan mengenai kulit bumi, maka secara langsung akan menyebabkan hancurnya agregat tanah. Penghancuran dari agregat tanah dipercepat dengan adanya daya penghancuran dan daya urai dari air itu sendiri. Hancuran agregat tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, kemudian kapasitas infiltrasi tanah akan menurun dan mengakibatkan air mengalir di permukaan dan disebut sebagai limpasan permukaan. Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel tanah yang telah hancur. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan. Dengan demikian 3 bagian yang berurutan, yaitu:

1. Pengelupasan (*detachment*)
2. Pengangkutan (*transportation*)
3. Pengendapan (*sedimentation*)

2.3.2 Klasifikasi Erosi

Beberapa tipe erosi permukaan yang umum dijumpai di daerah tropis adalah sebagai berikut (Asdak, 2002: 339):

1. Erosi percikan (*splash erosion*) adalah proses terkelupasnya partikel-partikel tanah bagian atas oleh tenaga kinetik air hujan bebas atau sebagai air lolos.
2. Erosi kulit (*sheet erosion*) adalah erosi yang terjadi ketika lapisan tipis permukaan tanah di daerah berlereng terkikis oleh kombinasi air hujan dan air larian (*runoff*).
3. Erosi alur (*rill erosion*) adalah pengelupasan yang diikuti dengan pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air larian yang terkonsentrasi di dalam saluran-saluran air.
4. Erosi parit (*gully erosion*) adalah membentuk jajaran parit yang lebih dalam dan lebar dan merupakan tingkat lanjutan dari erosi alur.
 - a. Erosi parit terputus dapat dijumpai di daerah bergunung, diawali oleh adanya gerusan yang melebar di bagian atas hamparan tanah miring yang berlangsung

- dalam waktu relatif singkat akibat adanya air larian yang besar, kedalaman erosi parit ini menjadi berkurang pada daerah yang kurang terjal.
- b. Erosi parit bersambungan berawal dari terbentuknya gerusan-gerusan permukaan tanah oleh air larian ke arah tempat yang lebih tinggi dan cenderung berbentuk jari-jari tangan.
 - c. Erosi parit bentuk V terjadi pada tanah yang relatif dangkal dengan tingkat erodibilitas (tingkat kerapuhan tanah) seragam.
 - d. Erosi parit bentuk U terjadi pada tanah dengan erodibilitas rendah terletak di atas lapisan tanah dengan erodibilitas yang lebih tinggi.
5. Erosi tebing sungai (*streambank erosion*) adalah pengikisan tanah pada tebing-tebing sungai dan penggerusan dasar sungai oleh aliran air sungai. Dua proses berlangsungnya erosi tebing sungai adalah oleh adanya gerusan aliran sungai dan adanya longsoran tanah pada tebing sungai.

2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Erosi

Erosi terjadi melalui proses penghancuran atau pengikisan, pengangkutan dan pengendapan. Dengan demikian intensitas erosi ditentukan oleh faktor-faktor yang mempengaruhi ketiga proses tersebut. Hudson (1976) dalam Utomo (1994: 25) melihat erosi dari dua segi faktor penyebab yang dinyatakan dalam erosivitas dan faktor tanah yang dinyatakan dalam erodibilitas. Jika dinyatakan dalam fungsi maka:

$$E = f \{ \text{Erosivitas, Erodibilitas} \}$$

Di alam, proses erosi tidak sesederhana hasil kali erosivitas dan erodibilitas tanah saja, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kedua variable tersebut. Erosivitas dalam air merupakan menifestasi hujan, dipengaruhi oleh adanya vegetasi dan kemiringan serta erodibilitas juga dipengaruhi oleh adanya vegetasi. Dan akhirnya aktivitas manusia tentunya juga sangat mempengaruhi faktor-faktor tersebut. Oleh karena itu dapat dikemukakan pula bahwa erosi adalah fungsi dari hujan (H), Tanah (T), Kemiringan (K), Vegetasi (V) dan Manusia (M). Jadi apabila dinyatakan dalam fungsi maka:

$$E = f \{ H, T, K, V, M \}$$

Artinya erosi akan dipengaruhi oleh sifat hujan, tanah, derajat dan panjang lereng, adanya penutup tanah yang berupa vegetasi dan aktivitas manusia dalam hubungannya dengan pemakaian tanah.

Menurut Asdak (2002), empat faktor yang dianggap menentukan besarnya proses erosi adalah:

1. Iklim

Pengaruh iklim terhadap erosi dapat bersifat langsung atau tidak langsung. Pengaruh langsung adalah melalui tenaga kinetis air hujan. Pada hujan yang intensif dan berlangsung dalam waktu pendek, erosi yang terjadi biasanya lebih besar daripada hujan dengan intensitas lebih kecil dengan waktu berlangsungnya hujan lebih lama. Pengaruh iklim tidak langsung ditentukan melalui pengaruhnya terhadap pertumbuhan vegetasi. Dengan kondisi iklim yang sesuai (fluktuasi suhu kecil dengan curah hujan merata), vegetasi dapat tumbuh secara optimal.

Di daerah yang beriklim basah faktor iklim yang mempengaruhi erosi adalah hujan. Besar intensitas dan distribusi hujan menentukan kekuatan disperse hujan terhadap tanah, jumlah dan kecepatan aliran permukaan dan kerusakan erosi.

2. Sifat-sifat Tanah

Empat sifat tanah yang penting dalam menentukan erodibilitas tanah (mudah tidaknya tanah tererosi) adalah:

- a. Tekstur tanah berkaitan dengan ukuran dan porsi partikel-partikel tanah dan akan membentuk tipe tanah tertentu. Tiga unsur utama tanah adalah pasir (*sand*), debu (*silt*) dan liat (*clay*). Tanah dengan unsur dominan liat, ikatan antar partikel tanah dengan unsur dominan pasir (tanah dengan tekstur kasar), kemungkinan untuk terjadinya erosi pada jenis tanah ini adalah rendah karena laju infiltrasi di tempat ini besar sehingga menurunkan laju air larian. Pada tanah dengan unsur utama debu dan pasir lembut serta sedikit unsur organik, memberikan kemungkinan yang lebih besar untuk terjadinya erosi.
- b. Unsur organik terdiri atas limbah tanaman dan hewan sebagai hasil proses dekomposisi. Unsur organik cenderung memperbaiki struktur tanah dan bersifat meningkatkan permeabilitas tanah, kapasitas tampungan air tanah dan kesuburan tanah. Kumpulan unsur organik di atas permukaan tanah dapat menghambat kecepatan air larian, dengan demikian menurunkan potensi terjadinya erosi.
- c. Struktur tanah adalah susunan partikel-partikel tanah yang membentuk agregat. Struktur tanah mempengaruhi kemampuan tanah dalam menyerap air tanah. Misalnya, struktur tanah granuler dan lepas mempunyai kemampuan besar dalam meloloskan air larian, sehingga menurunkan laju air dan memacu pertumbuhan tanaman.
- d. Permeabilitas tanah menunjukkan kemampuan tanah dalam meloloskan air. Struktur dan tekstur tanah serta unsur organik lainnya ikut ambil bagian dalam

menentukan permeabilitas tanah. Tanah dengan permeabilitas tinggi menaikkan laju infiltrasi sehingga menurunkan laju air larian.

3. Topografi

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor yang menentukan karakteristik topografi suatu daerah aliran sungai. Faktor-faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume air larian. Kecepatan air larian yang besar umumnya ditentukan oleh kemiringan lereng yang tidak terputus dan panjang serta konsentrasi pada saluran-saluran sempit yang mempunyai potensi besar untuk terjadinya alur dan erosi parit. Kedudukan lereng juga menentukan besar kecilnya erosi. Lereng bagian bawah lebih mudah tererosi daripada lereng bagian atas karena momentum air larian lebih besar dan kecepatan air larian lebih terkonsentrasi ketika mencapai lereng bagian bawah.

4. Vegetasi Penutup Tanah

Pengaruh vegetasi penutup tanah terhadap erosi adalah:

- Melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan (menurunkan kecepatan terminal tanah dan memperkecil diameter air hujan).
- Menurunkan kecepatan dan volume air larian.
- Manahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem penakaran dan serasah yang dihasilkan.
- Mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air.

Dalam meninjau pengaruh vegetasi terhadap mudah tidaknya tanah tererosi, harus dilihat apakah vegetasi penutup tanah tersebut mempunyai struktur tajuk yang berlapis sehingga dapat menurunkan kecepatan terminal air hujan dan memperkecil diameter tetesan air hujan. Semakin rendah dan rapat tumbuhan bawah maka semakin efektif pengaruh vegetasi dalam melindungi permukaan terhadap ancaman erosi karena akan menurunkan kecepatan terminal hujan dan dengan demikian dapat menurunkan besarnya tumbukan tetesan air hujan ke permukaan tanah.

2.3.4 Prakiraan Besarnya Erosi dan Hasil Sedimentasi

Untuk memperkirakan besarnya erosi dalam studi ini akan menggunakan metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*). Metode *MUSLE* (*Modified Universal Soil Loss Equation*) merupakan modifikasi dari *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Williams (1995).

Metode *USLE* (*Universal Soil Loss Equation*) atau Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) oleh Wischmeier dan Smith (1965, 1978) dimana pengukuran atau

pengamatan dilakukan pada faktor-faktor yang mempengaruhi erosi, kemudian erosi dihitung dari faktor-faktor tersebut. *USLE* memperkirakan besarnya erosi rata-rata tahunan secara kasar dengan menggunakan pendekatan dari fungsi energi curah hujan, sedangkan pada metode *MUSLE* faktor energi curah hujan ini digantikan dengan faktor limpasan permukaan, sehingga besarnya perkiraan hasil sedimen menjadi lebih besar dan tidak memerlukan perhitungan nisbah pelepasan sedimen (*SDR*). Meningkatnya perkiraan hasil sedimen ini disebabkan karena faktor limpasan permukaan merupakan fungsi dari keadaan kelembaban awal. Perhitungan besarnya Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sedimen Delivery Ratio*) dianggap penting dalam menentukan perkiraan yang realistis besarnya hasil sedimen total berdasarkan perhitungan erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air dengan menggunakan metode *USLE*, karena energi dari faktor curah hujan hanya digunakan pada saat proses pelepasan sedimen saja. Perhitungan *SDR* ini tidak diperlukan dalam perhitungan perkiraan hasil sedimen dengan *MUSLE*, karena faktor limpasan permukaan menghasilkan energi yang digunakan dalam proses pelepasan dan pengangkutan sedimen.

2.3.4.1 *MUSLE* (Modified Universal Soil Loss Equation)

Modified Universal Soil Loss Equation (Williams, 1995) adalah sebagai berikut: (SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 216)

$$sed = 11,8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (2 - 29)$$

Dimana:

- sed = hasil sedimen per hari (ton)
- Q_{surf} = volume aliran limpasan permukaan (mm/ha)
- q_{peak} = debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m³/det)
- $area_{hru}$ = luas hru (*hydrologic response unit*) (ha)
- K_{USLE} = faktor erodibilitas tanah USLE
- C_{USLE} = faktor (pengelolaan) cara bercocok tanam USLE
- P_{USLE} = faktor praktek konservasi tanah (cara mekanik) USLE
- LS_{USLE} = faktor topografi USLE
- $CFRG$ = faktor pecahan batuan kasar

2.3.4.2 Faktor Erodibilitas Tanah

K adalah faktor erodibilitas tanah untuk horizon tanah tertentu dan merupakan kehilangan tanah per satuan luas untuk indeks erosivitas tertentu. Faktor erodibilitas tanah (*K*) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan. Meskipun besarnya resistensi tersebut tergantung pada topografi, kemiringan lereng dan besarnya gangguan oleh

manusia. Besarnya erodibilitas atau resistensi tanah juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi serta kandungan organik dan kimia tanah. Karakteristik tanah tersebut bersifat dinamis, selalu berubah, oleh karenanya karakteristik tanah dapat berubah seiring dengan perubahan waktu dan tataguna lahan atau system pertanaman. Dengan demikian, angka erodibilitas tanah juga akan berubah. Perubahan erodibilitas tanah yang signifikan berlangsung ketika terjadi hujan karena pada waktu tersebut partikel-partikel tanah tersebut mengalami perubahan orientasi dan karakteristik bahan kimia dan fisika tanah (Asdak, 2002: 360).

Beberapa usaha telah dilaksanakan untuk membuat model hubungan fungsional sederhana antara besarnya erodibilitas suatu jenis tanah dengan karakteristik tanah yang bersangkutan. Wischmeier et al (1997) mengembangkan persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah sebagai berikut: (SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 217)

$$K_{USLE} = \frac{0,00021 \cdot M^{1,14}(12 - OM) + 3,25(c_{soilstr} - 2) + 2,5(c_{perm} - 3)}{100} \quad (2 - 30)$$

Dimana:

- K_{USLE} = faktor erodibilitas tanah USLE
- M = persentase ukuran partikel (% debu + pasir sangat halus) \times (100 - % liat)
- OM = persen unsur organik
- $c_{soilstr}$ = kode klasifikasi tanah (*granular, platy, massive, dll*)
- c_{perm} = kelas permeabilitas tanah

Perhitungan M dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \cdot (100 - m_c) \quad (2 - 31)$$

Dimana:

- m_{silt} = persentase debu (*silt*) (diameter partikel 0,002 – 0,05 mm)
- m_{vfs} = persentase pasir sangat halus (*very fine sand*) (diameter partikel 0,05 – 0,1 mm)
- m_c = persentase liat (*clay*) (diameter partikel < 0,002 mm)

OM dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$OM = 1,72 \times \text{org C} \quad (2 - 32)$$

Dimana:

- orgC = persentase karbon organik

Pembagian kelas tanah berdasarkan kriteria ukuran partikel tanahnya dapat berbeda-beda sesuai dengan struktur tanahnya, ringkasnya dapat dilihat pada table 2.3.

Kode yang dimaksud pada factor $c_{soilstr}$ adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Klasifikasi Struktur Tanah

Kelas	Keterangan
1	Granuler sangat halus (<i>very fine granular</i>)
2	Granuler halus (<i>fine granular</i>)
3	Granuler sedang-kasar (<i>medium or coarse granular</i>)
4	Massif kubus, lempeng (<i>blocky, platy, prismatic or massive</i>)

Sumber: Utomo, 1987: 74 (*SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 218*)

Tabel 2.4. Klasifikasi Ukuran Partikel Struktur Tanah

Klasifikasi Ukuran	Bentuk Struktur			
	Platy	Prismatic dan Columnar	Blocky	Granular
Very Fine	< 1 mm	< 10 mm	< 5 mm	< 1 mm
Fine	1 – 2 mm	10 – 20 mm	5 – 10 mm	1 – 2 mm
Medium	2 – 5 mm	20 – 50 mm	10 – 20 mm	2 – 5 mm
Coarse	5 – 10 mm	50 – 100 mm	20 – 50 mm	5 – 10 mm
Very Coarse	>10 mm	>100 mm	>50 mm	>10 mm

Sumber: *SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 218*)

Kode yang dimaksud pada faktor c_{perm} adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5. Klasifikasi Permeabilitas

Kelas	Keterangan	Permeabilitas (cm/jam)	Permeabilitas (mm/jam)
		(Utomo, 1987)	(<i>SWAT 2000, 2003</i>)
1	Cepat	>12,5	>150
2	Agak cepat	6,25 – 12,5	50 – 150
3	Sedang	2,00 – 6,25	15 – 50
4	Agak lambat	0,50 – 2,00	5 – 15
5	Lambat	0,125 – 0,50	1 – 5
6	Sangat Lambat	< 0,125	< 1

Sumber: Utomo, 1987: 76 (*SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 219*)

Williams (1995) melakukan perubahan persamaan dalam melakukan perhitungan erodibilitas tanah sebagai berikut:

$$K_{USLE} = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand} \quad (2 - 33)$$

Dimana:

f_{csand} = faktor untuk erodibilitas tanah yang tergantung pada besarnya kadar *coarse-sand* dan akan bernilai tinggi pada tanah yang sedikit berpasir.

f_{cl-si} = faktor yang akan berpengaruh terhadap rendahnya nilai erodibilitas tanah untuk tanah dengan perbandingan *clay* lebih tinggi daripada *silt*.

f_{orgc} = faktor penurunan erodibilitas tanah, untuk tanah dengan kadar pasir (*sand*) yang sangat tinggi.

Faktor-faktor tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$f_{csand} = \left(0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (2 - 34)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \quad (2 - 35)$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0,25 \cdot orgC}{orgC + \exp[3,72_2,95 \cdot orgC]} \right) \quad (2 - 36)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5,5122,9 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right) \quad (2 - 37)$$

Dimana:

m_s = persentase pasir (*sand*) (diameter butiran 0,05 – 2,00 mm)

m_{silt} = persentase debu (*silt*) (diameter butiran 0,002 – 0,05 mm)

m_c = persentase liat (*clay*) (diameter butiran < 0,002 mm)

$orgC$ = persentase karbon organik

2.3.4.3 Faktor Pengelolaan Tanaman (*Cover and Management*) (C)

Faktor C menunjukkan keseluruhan pengaruh dari vegetasi, serasah, kondisi permukaan tanah dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Oleh karenanya, besarnya angka C tidak selalu sama dalam kurun waktu satu tahun. Meskipun kedudukan C dalam persamaan *USLE* ditentukan sebagai faktor independen, nilai sebenarnya dari faktor C ini kemungkinan besar tergantung pada faktor-faktor lain yang termasuk dalam persamaan *USLE*.

Faktor C yang merupakan salah satu parameter dalam rumus *USLE* saat ini telah dimodifikasi untuk dapat dimanfaatkan untuk menentukan besarnya erosi di daerah berhutan atau lahan dengan dominasi vegetasi berkayu. Sembilan parameter telah ditentukan sebagai faktor yang berpengaruh dalam menentukan besarnya erosi di daerah bervegetasi berkayu tersebut. Kesembilan unsur tersebut adalah konsolidasi tanah, sisa-sisa tanaman, tajuk vegetasi, sistem perakaran, efek sisa perakaran dari kegiatan pengelolaan lahan, faktor kontur, kekasaran permukaan tanah, gulma dan rumput-rumputan.

Vegetasi yang tumbuh pada suatu lahan dapat bervariasi sesuai dengan pola tata tanam dan masa pertumbuhan tanaman, sehingga SWAT merubah C_{USLE} dengan persamaan berikut:

$$C_{USLE} = \exp([\ln(0,8) - \ln(C_{USLE,mn})] \cdot \exp[-0,00115 \cdot \text{rsd}_{\text{surf}}] + \ln[C_{USLE,mn}]) \quad (2 - 38)$$

Dimana:

$C_{USLE,mn}$ = nilai minimum faktor pengelolaan tanaman

rsd_{surf} = jumlah *residue* (mulsa, sisa-sisa tanaman) di permukaan tanah (kg/ha)

nilai minimum faktor pengelolaan tanaman dapat dihitung dari nilai rata-rata tahunan faktor C dengan menggunakan persamaan (Arnold and Williams, 1995):

$$C_{USLE} = 1,463 \cdot \ln[C_{USLE,mn}] + 0,1034 \quad (2 - 39)$$

Dimana:

$C_{USLE,mn}$ = nilai rata-rata tahunan faktor C

Pada table 2.6 di bawah ini ditunjukkan beberapa angka C yang diperoleh dari hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah, Bogor di beberapa tempat di Jawa. Pada penelitian tersebut, pengelolaan tanaman, pemilihan bibit, pengolahan tanah, waktu tanam dan pemeliharaan semuanya sesuai dengan anjuran Dinas Pertanian.



Tabel 2.6. Nilai C Untuk Berbagai Jenis Tanaman dan Pengelolaan Tanaman (Abdurachman dkk, 1984)

Jenis Tanaman/Tataguna Lahan	Nilai C
Tanaman rumput (<i>Brachiara sp</i>)	0,290
Tanaman kacang jogo	0,161
Tanaman gandum	0,242
Tanaman ubi kayu	0,363
Tanaman kedelai	0,399
Tanaman serai wangi	0,434
Tanaman padi lahan kering	0,560
Tanaman padi lahan basah	0,010
Tanaman jagung	0,637
Tanaman jahe, cabe	0,900
Tanaman kentang ditanam searah lereng	1,00
Tanaman kentang ditanam searah kontur	0,350
Pola tanam tumpang gilir + mulsa jerami (6 ton/ha/th)	0,079
Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanaman	0,347
Pola tanam berurutan	0,398
Pola tanam tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0,357
Kebun campuran	0,200
Lading berpindah	0,400
Tanah kosong diolah	1,000
Tanah kosong tidak diolah	0,950
Hutan tidak terganggu	0,001
Semak tidak terganggu	0,010
Alang-alang permanen	0,020
Alang-alang dibakar	0,700
Sengon disertai semak	0,012
Sengon tidak disertai semak dan tanpa serasah	1,000
Pohon tanpa semak	0,320

Sumber, asdak, 2002: 373

2.3.4.4 Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah (*Support Practice Factor*) (P)

Pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) terhadap besarnya erosi dianggap berbeda dari pengaruh yang ditimbulkan oleh aktivitas pengelolaan tanaman (C),

oleh karenanya dalam rumus *USLE* faktor P tersebut dipisahkan dari faktor C. tingkat erosi yang terjadi sebagai akibat pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) bervariasi, terutama tergantung pada kemiringan lereng.

Faktor P adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Praktek bercocok tanam yang kondusif terhadap penurunan kecepatan limpasan permukaan dan yang memberikan kecenderungan bagi limpasan permukaan untuk mengalir langsung ke tempat yang lebih rendah dapat memperkecil nilai P. Di ladang pertanian, besarnya P menunjukkan jenis aktivitas pengolahan tanah (pencangkulan dan persiapan tanah lainnya). Dalam pemakaian di bidang konstruksi, besarnya P menunjukkan kekasaran permukaan tanah sebagai akibat cara kerja traktor dan mesin-mesin pertanian lainnya. Besarnya faktor P yang telah berhasil ditentukan berdasarkan penelitian di Pulau Jawa adalah seperti pada Tabel 2.7.



Tabel 2.7. Nilai faktor P pada Berbagai Aktivitas Konservasi Tanah di Pulau Jawa (Abdurachman dkk, 1984)

Teknik Konservasi Tanah	Nilai P
Teras Bangku:	
a. Baik	0,20
b. Jelek	0,35
Teras bangku: jagung-ubi kayu/kedelai	0,06
Teras bangku: sorghum-sorghum	0,02
Teras tradisional	0,40
Teras gulud: padi-jagung	0,01
Teras gulud: ketela pohon	0,06
Teras gulud: jagung-kacang + mulsa sisa tanaman	0,01
Teras gulud: kacang kedelai	0,11
Teras dalam kontur:	
a. Kemiringan 0 – 8%	0,50
b. Kemiringan 9 – 20%	0,75
c. Kemiringan > 20%	0,90
Tanaman dalam jalur-jalur: jagung-kacang tanah + mulsa	0,05
Mulsa limbah jerami:	
a. 6 ton/ha/tahun	0,30
b. 3 ton/ha/tahun	0,50
c. 1 ton/ha/tahun	0,80
Tanaman perkebunan:	
a. Disertai penutup tanah rapat	0,10
b. Disertai penutup tanah sedang	0,50
Padang rumput:	
a. Baik	0,04
b. Jelek	0,40

Sumber: Asdak, 2002: 375

2.3.4.5 Faktor Topografi Panjang Lereng (L) dan Kriteria Lereng (S)

Faktor indeks topografi L dan S, masing-masing mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Panjang lereng mengacu pada aliran air permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen. Pada umumnya, kemiringan lereng diperlukan sebagai faktor yang seragam.

Besarnya nilai LS (factor topografi) dihitung dengan menggunakan rumus: (SWAT *Theoretical Documentation 2000, 2002: 222*)

$$LS_{USLE} = \left(\frac{L_{hill}}{22,1}\right)^m \cdot (65,41 \cdot \sin^2(\alpha_{hill}) + 4,56 \cdot \sin \alpha_{hill} + 0,065) \quad (2 - 40)$$

Dimana:

L_{hill} = panjang lereng (m)

m = syarat eksponensial

α_{hill} = sudut lereng

Syarat eksponensial m dihitung dengan:

$$m = 0,6 (1 - \exp[-35,835 \cdot slp]) \quad (2 - 41)$$

dimana:

slp = kemiringan lereng HRU (*Hydrologic Response Unit*)

= $\tan \alpha_{hill}$

2.3.4.6. Faktor Pecahan Batuan Kasar (*Coarse Fragment Factor*)

Faktor pecahan batuan kasar ini dihitung dengan persamaan sebagai berikut (AVSWAT *Theoretical Documentation 2000, 2002: 220*):

$$CFRG = \exp(-0,053 \cdot rock) \quad (2 - 42)$$

Dimana:

$rock$ = persentase batuan pada lapisan tanah

2.3.5 Hasil Sedimen (*Sedimen Yield*)

Sedimen merupakan hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk.

Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS/sub-DAS dan tergantung pada transport partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah tangkapan air DAS/sub-DAS. Produksi sedimen umumnya mengacu kepada besarnya laju sedimen yang mengalir melawati satu titik pengamatan tertentu dalam suatu sistem DAS. Tidak semua tanah yang tererosi di permukaan daerah tangkapan air akan sampai ke titik pengamatan. Sebagian tanah tererosi tersebut akan terdeposisi di cekungan-cekungan permukaan tanah. Oleh karenanya, besarnya hasil sedimen biasanya bervariasi mengikuti karakteristik fisik DAS/sub-DAS (Asdak, 2002: 404).

2.3.5.1 Transportasi Sedimen

Besarnya transportasi sedimen dalam aliran sungai merupakan fungsi dari suplai sedimen dan energi aliran sungai (*stream energy*). Ketika besarnya energi aliran sungai

melampaui besarnya suplai sedimen, terjadilah degradasi sungai. Begitu pula sebaliknya, ketika suplai sedimen lebih besar daripada energi aliran sungai, terjadilah aggradasi sungai. Hasil penelitian dan pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa aliran sungai merupakan sistem yang bersifat dinamik sehingga aliran air sungai selalu bervariasi. Selama periode aliran besar (*stormflow events*), meningkatnya kurva hidrograf (*the rising limb of hydrograph*) berasosiasi dengan meningkatnya laju transport sedimen atau laju degradasi sungai. Ketika debit aliran puncak telah terlampaui dan debit aliran berkurang dengan cepat, laju sedimenpun berkurang secara cepat yang berakibat terjadinya aggradasi sungai.

Williams (1980) mengembangkan sebuah metode untuk menentukan degradasi sebagai fungsi dari kemiringan saluran dan kecepatan, dimana metode tersebut didefinisikan dari metode energi aliran sungai Bagnold (1977). Dimana besarnya suplai sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran puncak, dengan persamaan sebagai berikut: (*SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 368*).

$$v_{ch,pk} = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}} \quad (2 - 43)$$

Dimana:

$q_{ch,pk}$ = debit aliran puncak (m^3/dt)

$A_{ch,pk}$ = luas saluran (m^2)

Debit aliran puncak didefinisikan dengan puncak persamaan sebagai berikut:

$$q_{ch,pk} = prf \cdot q_{ch} \quad (2 - 44)$$

dimana:

prf = *peak rate adjustment factor*

q_{ch} = debit aliran rata-rata (m^3/dt)

Sehingga konsentrasi maksimum sedimen yang dapat diangkut dihitung dengan rumus:

$$conc_{sed,ch,mx} = c_{sp} \cdot v_{ch,pk}^{sp\ exp} \quad (2 - 45)$$

Dimana:

$conc_{sed,ch,mx}$ = konsentrasi maksimum sedimen yang terangkut (ton/m^3 atau kg/L)

c_{sp} = koefisien

$sp\ exp$ = nilai eksponen (dalam kondisi normal bervariasi antara 1,0 – 2,0,

sedangkan di dalam persamaan energi aliran sungai Bagnold bernilai 1,5)

jika konsistensi sedimen di dalam sungai pada suatu waktu adalah $conc_{sed,ch,i}$, dan terjadi kondisi $conc_{sed,ch,i} > conc_{sed,ch,mx}$ maka deposisi sedimen merupakan proses yang dominan terjadi pada waktu dan *section* di sungai tersebut dan berat bersih deposisi sedimen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \cdot V_{ch} \quad (2 - 46)$$

Dimana:

sed_{dep} = total sedimen yang terdeposisi di sungai (ton)

V_{ch} = volume air di *section* sungai (m^3)

Jika $conc_{sed,ch,i} < conc_{sed,ch,mx}$, maka akan terjadi proses degradasi di segment sungai tersebut, dimana berat bersih total sedimen dari proses degradasi dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$sed_{deg} = (conc_{sed,ch,mx} - conc_{sed,ch,i}) \cdot V_{ch} \cdot K_{CH} \cdot C_{CH} \quad (2 - 47)$$

Dimana:

sed_{deg} = total sedimen hasil degradasi di sungai (ton)

K_{CH} = faktor erodibilitas saluran (cm/jam/Pa)

C_{CH} = faktor penutup saluran

Setelah memperhitungkan total deposisi dan degradasi sedimen di sungai, maka total sedimen yang ada di sungai tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg} \quad (2 - 48)$$

Dimana:

sed_{ch} = total sedimen melayang di sungai (ton)

$sed_{ch,i}$ = total sedimen melayang di sungai pada permulaan periode waktu (ton)

sed_{dep} = total sedimen yang terdeposisi di setiap *section* sungai (ton)

sed_{deg} = total sedimen hasil degradasi di setiap *section* sungai (ton)

Untuk total sedimen yang terangkut keluar dari sungai tersebut ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (2 - 49)$$

Dimana:

sed_{out} = total sedimen yang terangkut keluar sungai (ton)

V_{out} = volume *outflow* selama waktu konsentrasinya (m^3)

V_{ch} = volume air di *section* sungai tersebut (m^3)

Cara memprakirakan besarnya hasil sedimen dengan menghitung besarnya SDR suatu daerah tangkapan air dapat dikatakan kurang begitu akurat mengingat bahwa erosi total yang ditentukan berdasarkan rumus USLE tidak memperhitungkan besarnya erosi parit dan deposisi hasil erosi (sedimen) di cekungan-cekungan permukaan tanah antara daerah sumber erosi dan saluran air (sungai) yang dikaji besarnya hasil sedimen. Namun

demikian, cara ini lazim dilakukan di daerah yang kurang memungkinkan dilakukannya pengukuran hasil sedimen secara langsung di lapangan. Menurut *SCS National Engineering Handbook* (DPMA, 1984) besarnya prakiraan hasil sedimen dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$Y = E (SDR) W_s \quad (2 - 50)$$

dimana:

Y = hasil sedimen per satuan luas

E = erosi total

SDR = Nisbah Pelepasan Sedimen

W_s = luas daerah tangkapan air

Besarnya SDR dalam perhitungan-perhitungan erosi atau hasil sedimen untuk suatu daerah aliran sungai umumnya ditentukan dengan menggunakan grafik hubungan antara luas DAS dan besarnya SDR.

$$D = \frac{Y}{T} \quad (2 - 51)$$

dimana:

D = nisbah pelepasan sedimen (SDR)

Y = hasil sedimen yang diperoleh di *outlet* DAS

T = erosi total yang berasal dari daerah tangkapan air (termasuk erosi parit, erosi kulit dan erosi alur) yang berlangsung di bagian atas *outlet*.

2.4 Sistem Informasi Geografis

2.4.1 Definisi SIG

Sistem Informasi Geografis adalah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografi (Aronoff, 1989). Selain itu SIG adalah kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, mengupdate, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografi (ESRI, 1990).

Sistem informasi geografis menawarkan suatu sistem yang mengintegrasikan data yang bersifat keruangan (spasial/geografis) dengan data tekstual yang merupakan deskripsi menyeluruh tentang obyek dan keterkaitannya dengan obyek lain. Dengan sistem ini data dapat dikelola, dilakukan manipulasi untuk keperluan analisis secara komprehensif dan

sekaligus menampilkan hasilnya dalam berbagai format baik dalam bentuk peta maupun berupa tabel atau laporan (*report*).

Keunikan SIG jika dibandingkan dengan sistem pengolahan basis data yang lain adalah kemampuannya untuk menyajikan informasi spasial maupun non-spasial secara bersama-sama. Sebagai contoh penggunaan lahan dapat disajikan dalam bentuk batas-batas yang masing-masing mempunyai atribut penjelasan dalam bentuk tulisan maupun angka. Informasi yang berlainan tema umumnya disajikan dalam *layer* (lapisan) informasi yang berbeda, sebagai contoh akan terdapat *layer* informasi jalan, ketinggian, bangunan dan sebagainya.

Adapun kegunaan SIG adalah:

1. Teknologi SIG menggabungkan data spasial lain dalam satu sistem, dimana sistem ini menawarkan suatu kerangka yang konsisten untuk analisa geografi.
2. Dengan menggabungkan peta dan informasi spasial yang lain dalam bentuk digital, SIG bisa digunakan untuk manipulasi dan penampilan yang terbaru dari pengetahuan SIG.
3. SIG menghubungkan antara aktivitas-aktivitas berdasarkan kedekatan geografi.

2.4.2 Subsistem SIG

Mengacu pada definisi di atas, maka SIG dapat diuraikan menjadi 4 (empat) subsistem yaitu (Prahasta, 2001: 58):

1. Data Input (Pemasukan Data)

Subsistem data input untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber yang relevan untuk kepentingan analisa. Subsistem ini mengkonversi atau mentransformasikan dari format data aslinya kedalam format digital yang sesuai dengan format SIG. Pemasukan data dapat dilakukan dengan digitasi, dimana digitasi adalah proses perubahan data grafis analog menjadi data grafis digital, dalam struktur vector. Hasil suatu proses digitasi adalah himpunan segmen maupun polygon.

2. Menejemen Data

Subsistem menejemen data berfungsi untuk mengorganisasikan data spasial maupun atribut ke dalam basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, diupdate dan diedit. Basis data adalah himpunan dari beberapa berkas data atau tabel yang disimpan dengan suatu struktur tertentu, sehingga saling keterkaitan yang ada di antara anggota-anggota himpunan tersebut dapat diketahui, dimunculkan dan dimanipulasi oleh perangkat lunak menejemen basis data untuk

keperluan tertentu. SIG adalah manajemen basis data spasial yang mampu memadukan informasi dalam bentuk tabel dengan informasi spasial berupa peta-peta dengan tingkat otomatis yang tinggi.

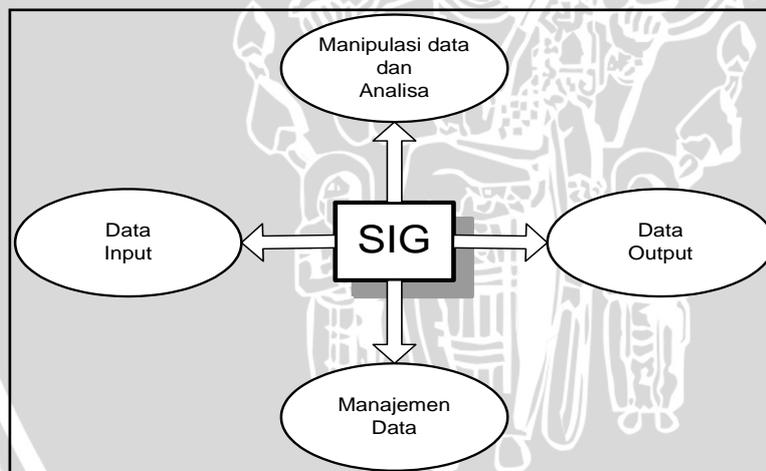
3. Manipulasi Data dan Analisis

Subsistem ini berfungsi untuk menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG, selain itu subsistem ini juga melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk keperluan informasi yang diharapkan.

4. Data Output (Keluaran Data)

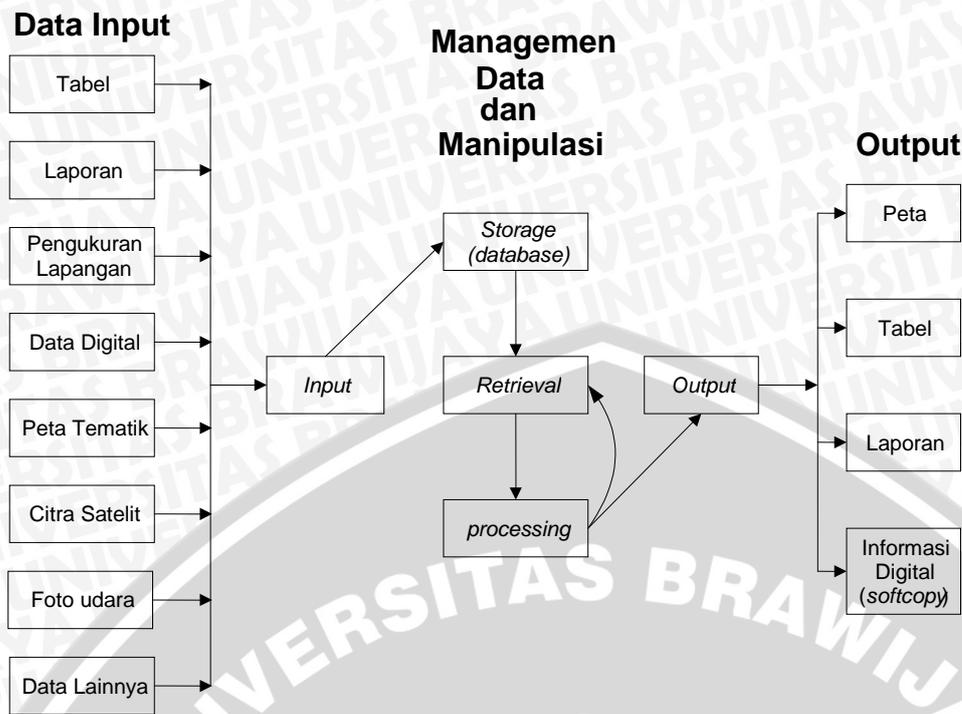
Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan keinginan pengguna. Subsistem data *output* berfungsi untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk *softcopy* maupun dalam bentuk *hardcopy* seperti table, grafik, peta dan lain-lain.

Apabila subsistem-subsistem SIG diperjelas berdasarkan uraian jenis masukan, proses dan jenis keluaran yang ada di dalamnya maka subsistem SIG dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5. Subsistem-subsistem SIG

(Sumber: Prahasta, 2002: 59)



Gambar 2.6. Uraian Subsistem-subsistem SIG
(Sumber: Prahasta, 2001: 59)

2.4.3 Komponen SIG

SIG merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari beberapa komponen seperti di bawah ini (Prahasta, 2001: 60):

1. Perangkat Keras

SIG tersedia untuk beberapa *platform* perangkat keras mulai *PC desktop*, *workstation*, hingga *multiuser host*. Adapun perangkat keras yang sering digunakan untuk SIG adalah komputer (PC), *mouse*, *digitizer*, *pointer*, *plotter* and *scanner*.

2. Perangkat Lunak

SIG merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang peranan kunci. Setiap subsistem (*data input*, *data output*, *data management*, *data manipulasi* dan *analisis*) diimplementasikan dengan menggunakan beberapa modul.

3. Data dan Informasi Geografis (Basis Data)

SIG dapat mengumpulkan dan menyimpan data dan informasi yang diperlukan baik secara langsung dengan cara *import*-nya dari perangkat-perangkat lunak SIG yang lain maupun secara langsung dengan cara mendigitasi data spasialnya dari peta dan memasukkan data atributnya dari table-table dengan menggunakan *keyboard*.

4. Manajemen (Sumber Daya Manusia/*Brainware*)

Suatu proyek SIG akan berhasil jika dimanajemen dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang yang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.

2.4.4 Struktur Data

Basis data yang digunakan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) meliputi data spasial dan non-spasial. Ditinjau dari segi penyiapan data, Sistem Informasi Geografis terdiri dari dua jalur konseptual, yaitu:

1. Sistem vektor (*vector based system*)
2. Sistem raster (*raster based system*)

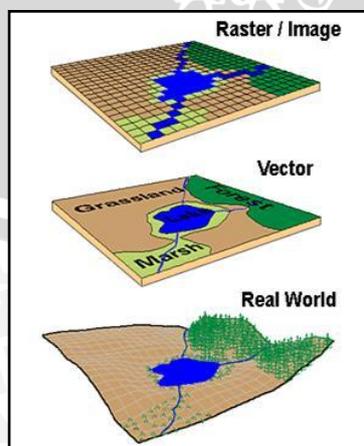
Kedua sistem tersebut merupakan fungsi posisi yang menunjukkan salah satu karakteristik dari data geografi. Tetapi masing-masing sistem mempunyai kelebihan dan kekurangan sendiri-sendiri.

- Data Vektor

Pada sistem vektor (*vector based system*), semua unsur-unsur geografi disajikan dalam 3 konsep topologi, yaitu: titik (*point*), garis (*arc*) dan area (*polygon*). Unsur-unsur geografi tersebut disimpan dalam bentuk pasangan koordinat, sehingga letak titik, garis dan area dihubungkan dengan data atribut dengan menggunakan suatu pengenal (*identity/user-ID*).

- Data Raster

Pada sistem raster, fenomena geografi disimpan dalam bentuk pixel (*grid/raste/cell*) yang sesuai dengan kenampakkan. Setiap pixel mewakili satu fenomena geografi. Pada sistem ini titik dinyatakan dalam bentuk *grid* atau sel tunggal, garis dinyatakan dengan beberapa sel yang mempunyai arah dan polygon dinyatakan dalam beberapa sel.



Gambar 2.7. Bentuk Data Vektor dan Raster
(Sumber: diadopsi dari Makaryo Ing Paran)

- Data *Base Attribute* (non-spasial)

Berikut beberapa contoh bentuk-bentuk dari data non-spasial:

1. Alfanumerik dan angka-angka
2. Laporan lengkap, dengan format: kata, kalimat dan keterangan lain
3. Keterangan gambar (grafik), dengan format: kata dan angka

Keterangan penunjuk liputan area, keterangan simbol.

Struktur *database* di dalam sistem informasi geografis yang umum digunakan sekarang ini adalah struktur *relational*.

- *Relational*

Dapat melakukan hubungan item yang sama pada table yang berbeda yang tidak disatukan. Dimana aplikasi praktis dari konsep *relational* ini tidak terbatas untuk tetap mengacu pada koordinat atribut-atributnya. Dengan menggunakan struktur *relational* dua tabel manapun akan dapat disatukan apabila memiliki item relasi yang sama.

2.4.5 Cara Kerja SIG

Dalam SIG peta merepresentasikan dunia nyata di atas monitor komputer sebagaimana lembaran peta merepresentasikan dunia nyata di atas kertas. Obyek-obyek yang direpresentasikan di atas peta disebut unsur peta atau *map features* (sungai, sawah, jalan dan lain-lain). Peta dapat dengan baik memperlihatkan hubungan antar unsur-unsurnya.

Titik, garis dan polygon digunakan dalam SIG untuk merepresentasikan obyek-obyek dunia nyata. Sungai ditampilkan sebagai garis, sawah ditampilkan sebagai polygon dan lain-lain. Unsur-unsur dalam peta tersebut mempunyai koordinat di bumi sehingga dapat digunakan sebagai data spasial. Skala peta menentukan ukuran dan bentuk representasi unsur-unsurnya. Makin meningkat skala peta, makin besar ukuran unsur-unsurnya.

Dalam basis data SIG, semua informasi deskriptif unsur peta disimpan sebagai data atribut. SIG membentuk dan menyimpannya dalam tabel-tabel, kemudian SIG menghubungkan unsur-unsur peta dengan tabel data atribut yang bersangkutan sehingga atribut-atribut ini dapat ditampilkan melalui unsur-unsur peta dan sebaliknya unsur-unsur peta dapat ditampilkan melalui atribut-atributnya.

Untuk memudahkan pemahaman tentang tahapan-tahapan pengerjaan SIG, berikut ini diberikan bagan pengerjaan SIG.

2.4.6 Pengolahan Data

2.4.6.1 Pemasukan Data

Pemasukan data dilakukan dengan cara proses digitasi. Digitasi dilakukan dengan cara menelusuri delienasi yang dibuat pada peta analog sehingga seluruhnya dipindahkan ke dalam komputer dengan perantara meja *digitizer*. Proses digitasi dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas ADS (*Arc Digitize System*) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menentukan titik-titik kontrol dengan maksud agar koordinat pada peta dapat dipindahkan pada sistem koordinat yang memiliki *digitizer*.
2. Digitasi dilakukan dengan menelusuri kenampakkan dipeta yang berupa titik, garis dan area dengan alat yang penelusur pada meja *digitizer*. Setiap kenampakkan diberikan kode/ID yang berbeda. Perbedaan kode/ID ini diberikan untuk mempermudah pemanggilan salah satu penampakkan atau obyek. Setelah proses ini selesai, setiap kenampakkan dipeta disimpan dalam bentuk segmen.

2.4.6.2 Manipulasi dan Analisis Data

Satuan pemetaan harus ditentukan nilainya (*score*) agar dapat dipadukan dengan peta yang lain untuk tujuan analisis. Kemampuan SIG dapat juga dikenali dari fungsi-fungsi analisis yang dapat dilakukannya. Secara umum terdapat dua jenis fungsi analisis dalam SIG yang meliputi fungsi analisis spasial dan fungsi analisis atribut (basis data atribut).

Fungsi analisis data atribut dari operasi dasar sistem pengelolaan basis data/*Database Management System* (DBMS) dan perluasannya meliputi:

1. Operasi dasar basis data yang mencakup:
 - Membuat basis data baru (*create database*)
 - Menghapus basis data (*drop database*)
 - Membuat tabel basis data (*create table*)
 - Menghapus tabel basis data (*drop table*)
 - Mengisi dan menyisipkan data (*record*) ke dalam tabel (*insert*)
 - Membaca dan mencari data (*field* atau *record*) dari tabel basis data (*seek, find, search, retrieve*)
 - Mengubah atau mengedit data yang ada di dalam tabel basis data (*update edit*)
 - Membuat indeks untuk setiap basis

2. Perluasan operasi basis data

- Membaca dan menulis basis data ke dalam basis data yang lain (*export/import*)
- Dapat berkomunikasi dengan sistem basis data yang lain (misalnya dengan menggunakan *driver* ODBO)
- Dapat menggunakan bahasa basis data standar SQL (*Structure Query Language*)
- Operasi-operasi atau fungsi analisis lain yang rutin digunakan dalam sistem basis data

Fungsi analisis spasial dari SIG terdiri dari:

1. Klasifikasi (*reclassify*)

Fungsi ini menghasilkan atau mengklasifikasi kembali suatu data spasial atau atribut menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu.

2. Jaringan (*network*)

Fungsi ini menunjuk kepada data-data spasial yang berupa titik-titik atau garis-garis sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan.

3. Tumpang susun (*overlay*)

Fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang menjadi masukannya.

- *Union*: Tumpang susun polygon dan menyimpan semua area dari kedua peta.
- *Identity*: Tumpang susun titik, garis atau polygon pada polygon dan menyimpan semua jenis input.
- *Intersect*: Tumpang susun titik, garis atau polygon pada polygon tetapi hanya menyimpan bagian input yang berbeda dalam tumpang susun.

4. *Buffering*

Fungsi ini akan menghasilkan data spasial baru yang berbentuk polygon atau zone dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukannya.

5. *3D analysis*

Fungsi ini terdiri dari sub-sub fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang tiga dimensi.

6. *Digital Image Processing*

Fungsi ini dimiliki oleh SIG yang berbasis raster.

2.4.6.3 Keluaran Data (*Output*)

Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan pengguna.

Keluaran data terdiri dari tiga bentuk yaitu cetakan, tayangan dan data digital. Subsistem data *output* berfungsi untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk *softcopy* maupun dalam bentuk *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta dan lain-lain.

Bentuk cetakan dapat berupa peta maupun tabel yang dicetak dengan media kertas, film atau media lain. Bentuk tayangan berupa tampilan gambar di monitor komputer. Keluaran data dalam bentuk data digital berupa file yang dibaca oleh komputer yang lain ataupun untuk menghasilkan cetakan lain ditempat. Keluaran data pada studi ini berupa peta-peta tematik yang meliputi struktur data dalam format vector dan *raster/grid*. Peta-peta tematik tersebut dicetak dengan menggunakan printer.

2.4.7 Analisa Tumpang Susun (*Overlay*)

Tumpang susun merupakan proses penggabungan dua buah peta untuk membentuk peta baru. Operasi tumpang susun merupakan operasi menggabungkan dua peta berikut jenis atributnya untuk menghasilkan peta yang tumpang susun. Operasi yang sering digunakan ada tiga macam, yaitu:

1. *Intersect two themes*

Operasi ini memotong suatu *theme input* sesuai dengan bentuk dari *theme overlay* untuk menghasilkan atribut dari *theme* kedua-duanya.

2. *Union two themes*

Operasi ini merupakan penggabungan antara dua *theme* tersebut berikut dengan data atribut dari kedua *theme* tersebut.

3. *Clip one theme based on another*

Operasi ini biasanya digunakan untuk memotong *theme* menjadi bagian atau daerah yang lebih kecil sesuai dengan keperluan.

2.5 AVSWAT 2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tool*)

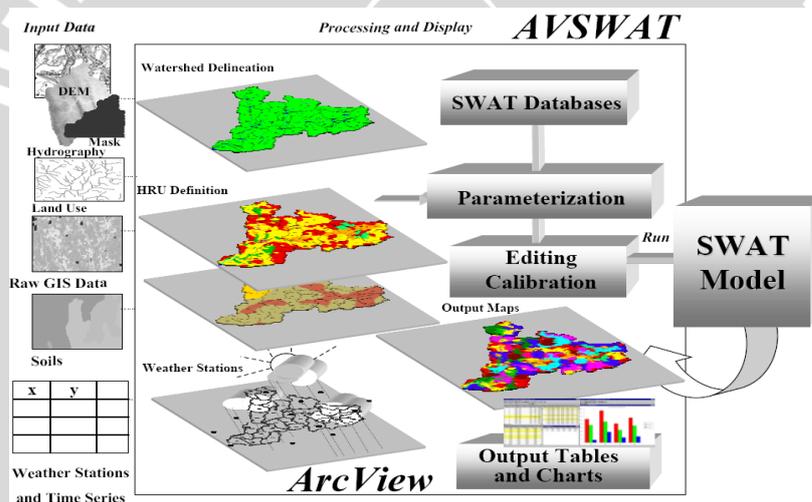
AVSWAT 2000 (*Arc View Soil and Water Assessment Tool*) adalah sebuah software yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) Arc View 3.2 atau 3.3 (ESRI) sebagai eksistensi (*graphical user interface*) di dalamnya. Program ini dikeluarkan oleh *Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA*. Arc View sendiri adalah salah satu dari sekitar banyak program yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).

Program AVSWAT 2000 merupakan perkembangan dari versi sebelumnya, SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) yang tidak bekerja dalam software ArcView. AVSWAT dirancang untuk memprediksi pengaruh manajemen lahan pada aliran air, sedimen dan

lahan pertanian dalam suatu hubungan yang kompleks pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) termasuk di dalamnya jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen kondisi lahan secara periodik. Untuk tujuan pemodelan, program AVSWAT memudahkan pengguna (*user*) dengan melakukan pembagian suatu wilayah DAS yang luas menjadi beberapa bagian sub DAS – sub DAS untuk memudahkan dalam perhitungan.

Struktur data yang digunakan sebagai representasi dari kondisi asli kenampakan objek yang ada di bumi. Di dalam pengolahan database, AVSWAT 2000 dibagi dalam dua kelompok database: jenis data spasial yaitu basis data dalam struktur vektor dan basis dalam struktur *grid/raster*.

Berbagai aplikasi yang sering memanfaatkan struktur data dalam bentuk grid antara lain adalah representasi kondisi elevasi (DEM), kemiringan (*slope*), atau juga sebaran distribusi curah hujan. Secara skematik struktur data dari AVSWAT dapat digambarkan seperti gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.8. Model Struktur Data Dalam AVSWAT
 Sumber: AVSWAT 2000 – User’s Guide, 2003

2.5.1 Input Data AVSWAT 2000

AVSWAT 2000 membutuhkan informasi-informasi mengenai komponen-komponen suatu DAS antara lain hujan yang terjadi di DAS, tata guna lahan, kandungan air tanah dan sebagainya. Informasi-informasi itu dihimpun dalam basis data masukan yang dinamakan input data.

Input data pada AVSWAT untuk setiap sub DAS diatur menurut: data iklim dan cuaca, dan *Hydrologic Response Unit (HRU)*, data air tanah dan data saluran utama. HRU adalah lahan yang dikaji pada sub DAS, termasuk didalamnya adalah penutup lahan atau tata guna lahan, jenis tanah dan informasi-informasi yang terdapat dalam suatu DAS.

2.5.2 Input Data Hidrologi ke AVSWAT 2000

Dalam AVSWAT data curah hujan harian selama 14 tahun dimasukkan dalam file (*.wgn) (*Weather Generation*). Dalam *Weather Generation* berisi data statistik yang dibutuhkan untuk membangkitkan data curah hujan harian dalam suatu subbasin. Idealnya data yang tersedia paling sedikit 10 tahun yang digunakan untuk menghitung parameter dalam file (*.wgn) (*Weather Generation*). Data curah hujan akan membangkitkan dalam dua hal, dimana digunakan dalam simulasi dan untuk menelusuri data yang salah.

Adapun penjelasan dalam mengolah input data *Weather Generation* adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata total presipitasi bulanan (PCPMM)
2. Standar deviasi presipitasi bulanan (PCPSTD)
3. Kepencengan presipitasi bulanan (PCPSKW)
4. Probabilitas hari hujan terhadap hari kering (PR_W1)
5. Probabilitas hari hujan terhadap hari hujan (PR_W2)
6. Rata-rata jumlah hari hujan bulanan (PCPD)
7. Hujan maksimum bulanan (RAINHHMX)

2.5.3 Fase Penelusuran Siklus Hidrologi

AVSWAT 2000 dapat menyimulasikan sekian banyak proses-proses fisika dan kimia yang terjadi pada suatu DAS. Input data-data spasial pada AVSWAT untuk setiap sub DAS diatur menurut: data cuaca, data *Hydrologic Response Unit (HRU)*, data air tanah dan data saluran utama. HRU adalah daerah lahan yang dikaji pada sub DAS, termasuk didalamnya adalah penutup lahan/tata guna lahan, jenis tanah dan informasi-informasi yang terdapat dalam suatu DAS.

Program ini menganalisis semua masalah yang terjadi pada suatu DAS dengan prinsip dasar pola keseimbangan aliran. Untuk memperkirakan pergerakan pestisida, sedimen dan nutrisi tanaman dengan akurat. AVSWAT menyimulasikan proses-proses yang terjadi dalam siklus hidrologi yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan.

Simulasi hidrologi pada suatu DAS dibedakan menjadi dua fase. Pertama adalah fase penelusuran siklus hidrologi di darat (jumlah air tanah, sedimen, nutrisi dan kandungan pestisida yang bergerak menuju aliran sungai) dan yang kedua adalah fase penelusuran siklus hidrologi aliran (pergerakan air, sedimen dan sebagainya di dalam aliran).

2.5.3.1 Fase Penelusuran Siklus Hidrologi di Lahan

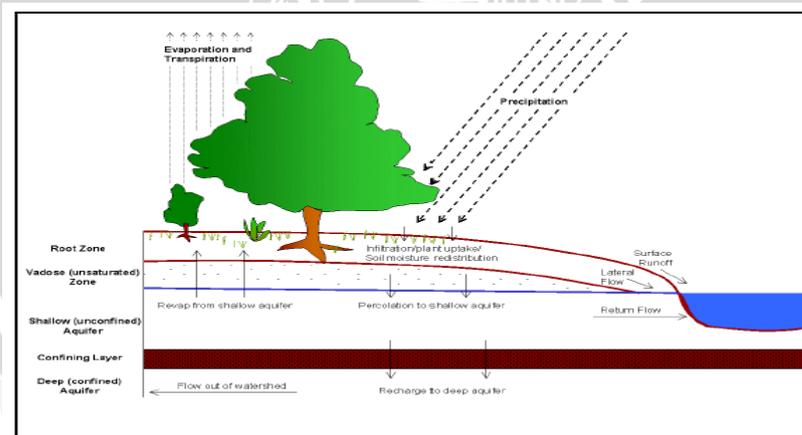
Siklus hidrologi yang disimulasikan AVSWAT berdasarkan rumus pola keseimbangan air:

$$SW_1 = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (2 - 52)$$

Dimana:

- SW_1 = Jumlah air yang keluar dalam tanah (mmH_2O)
- SW_0 = Inisial kandungan air dalam tanah pada hari ke-i (mmH_2O)
- t = Waktu (hari)
- R_{day} = Jumlah presipitasi pada hari ke-i (mmH_2O)
- Q_{surf} = Jumlah limpasan pada hari ke-i (mmH_2O)
- E_a = Jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mmH_2O)
- W_{seep} = Jumlah air dari profil tanah masuk area vados pada hari ke-i (mmH_2O)
- Q_{gw} = Jumlah air pada aliran kembali pada hari ke-i (mmH_2O)

Pembagian DAS menjadi beberapa sub DAS memudahkan model untuk merefleksikan perbedaan-perbedaan evapotranspirasi pada tanaman dan tanah. Limpasan dihitung tersendiri untuk setiap HRU pada masing-masing sub DAS untuk memperoleh limpasan total DAS. Hal ini meningkatkan akurasi perhitungan dan pendeskripsian pola keseimbangan air yang lebih baik.



Gambar 2.9. Fase Penelusuran Siklus Hidrologi di Lahan
Sumber: SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 8

2.5.3.2 Fase Penelusuran Siklus Hidrologi Aliran

Siklus hidrologi pada aliran dimodelkan dalam AVSWAT, mirip dengan prinsip pemodelan HYMO (Williams & Hann, 1972). AVSWAT mensimulasikan kandungan air, sedimen, nutrisi dan pestisida yang masuk dalam aliran. AVSWAT juga memodelkan transformasi kimia yang terjadi di saluran dan di dasar saluran.

Transformasi nutrisi pada aliran dikontrol oleh komponen kualitas air dalam aliran pada model. Untuk hal ini AVSWAT mengadopsi rumus-rumus yang dikembangkan (Brown & Barnwell, 1987) dalam program QUAL2E.

2.5.4 Pembangkit Cuaca (*Weather Generation*)

AVSWAT membutuhkan data presipitasi harian, temperatur maksimum dan minimum, radiasi sinar matahari, kelembaban relatif dan kecepatan angin untuk simulasi program. Data-data ini didapatkan dari pengukuran pada stasiun-stasiun meteorologi dan stasiun hujan. AVSWAT juga mampu membangkitkan data-data yang hilang dari pengukuran. Untuk ini AVSWAT menggunakan model pembangkit cuaca WXGEN (Sharpley & Williams, 1990).

Kejadian hujan pada suatu hari berhubungan langsung dengan kelembaban relatif, temperatur dan radiasi sinar matahari. Data hujan terlebih dahulu dibangkitkan untuk memperoleh nilai-nilai pembangkitan data kelembaban relatif, temperatur dan radiasi sinar matahari. Sehingga data kecepatan angin dapat dibangkitkan.

❖ Presipitasi

Pembangkitan data presipitasi dalam AVSWAT menggunakan model Markov *Chain-Skewed* (Nicks, 1974) dan model Markov *Chain-Exponential* (Williams, 1995). Dalam studi ini digunakan pembangkitan data presipitasi model Markov *Chain-Skewed* (Nicks, 1974). Ketika hari basah (hujan) dibangkitkan, distribusi kepeccengan hujan digunakan untuk membangkitkan jumlah presipitasi yang terjadi.

Dalam model Markov *Chain-Exponential*, peluang hujan pada suatu hari hujan dikondisikan pada hari basah (hujan) atau hari kering (tidak hujan) di hari sebelumnya. Hari basah (hujan) ditentukan dengan angka hujan 0,1 atau lebih. Peluang kejadian hujan dan tidak hujan dalam model ini dibagi menjadi dua data masukan dengan rumus seperti berikut:

1. Probabilitas hari basah pada hari i hari basah pada hari sebelum i ,

$$P_1 \left(\frac{D}{W} \right) = 1 - P_1 \left(\frac{W}{W} \right) \quad (2 - 53)$$

2. Probabilitas hari basah pada hari i hari kering pada hari sebelum i ,

$$P_1 \left(\frac{D}{D} \right) = 1 - P_1 \left(\frac{W}{D} \right) \quad (2 - 54)$$

Dimana:

$P_1 (D/W)$ = Peluang hari kering pada hari i hari basah pada hari $i-1$

$P_1 (D/D)$ = Peluang hari kering pada hari i hari kering pada hari $i-1$

Untuk menghitung jumlah presipitasi yang terjadi pada suatu hari, AVSWAT menggunakan model distribusi kepengcengan (*skewed distribution*) (Nicks, 1974) dengan rumus sebagai berikut:

$$1. R_{day} = \mu_{man} + 2\sigma_{man} \left[\frac{\left[\left(\frac{SND_{day} - g_{mon}}{6} \right) \cdot \left(\frac{g_{mon}}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right] \quad (2 - 55)$$

Dimana:

R_{day} = Jumlah hujan pada suatu hari (mmH₂O)

π_{mon} = Rata-rata hujan harian bulanan (mmH₂O)

σ_{mon} = Standar deviasi hujan harian bulanan (mmH₂O)

SND_{day} = Standar normal deviasi terhitung untuk hari hujan

g_{mon} = Koefisien kepengcengan untuk hujan harian bulanan

2. Standar normal deviasi dihitung dengan rumus:

$$SDN_{day} = \cos(6,283 \cdot rnd_2) \cdot \sqrt{-2\ln(rnd_1)} \quad (2 - 56)$$

Dimana:

SDN_{day} = Standar normal deviasi terhitung untuk hari hujan

rnd_1 dan rnd_2 adalah bilangan acak antara 0,0 dan 1,0

Untuk input data-data pembangkit cuaca, data-data disusun dalam susunan data statistik dengan rumus-rumus sebagai berikut:

1. TMPMX adalah rata-rata temperatur udara maksimum dalam bulanan.

$$\mu mx_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N} \quad (2 - 57)$$

Dimana:

μmx_{mon} = rata-rata temperatur maksimum harian untuk bulan mon (°C)

$T_{mx,mon}$ = temperatur maksimum harian pada hari ke- d bulan mon (°C)

N = jumlah temperatur maksimum pada bulan mon

2. TMPMN adalah rata-rata temperatur udara minimum dalam bulanan.

$$\mu mn_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mn,mon}}{N} \quad (2 - 58)$$

Dimana:

μmx_{mon} = rata-rata temperatur minimum harian untuk bulan mon (°C)

$T_{mn,mon}$ = temperatur minimum harian pada hari ke- d bulan mon (°C)

N = jumlah temperatur maksimum pada bulan mon

3. TMPSTDMX adalah standar deviasi temperatur harian maksimum dalam bulanan.

$$\sigma mx_{mon} = \sqrt{\left[\frac{(\sum_{d=1}^N T_{mx,mon} - \mu mx_{mon})^2}{N - 1} \right]} \quad (2 - 59)$$

Dimana:

σmx_{mon} = standar deviasi temperatur harian maksimum bulan mon (°C)

$T_{mx,mon}$ = temperatur maksimum harian pada hari ke- d bulan mon (°C)

μmx_{mon} = rata-rata temperatur minimum harian untuk bulan mon (°C)

N = jumlah temperatur maksimum pada bulan mon

4. TMPSTDMN adalah standar deviasi temperatur harian maksimum dalam bulanan.

$$\sigma mx_{mon} = \sqrt{\left[\frac{(\sum_{d=1}^N T_{mn,mon} - \mu mx_{mon})^2}{N - 1} \right]} \quad (2 - 60)$$

Dimana:

σmx_{mon} = standar deviasi temperatur harian minimum bulan mon (°C)

$T_{mn,mon}$ = temperatur minimum harian pada hari ke- d bulan mon (°C)

μmx_{mon} = rata-rata temperatur minimum harian untuk bulan mon (°C)

N = jumlah temperatur minimum pada bulan mon

5. PCPMM adalah rata-rata total presipitasi dalam bulanan.

$$\bar{R}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,mon}}{yrs} \quad (2 - 61)$$

Dimana:

\bar{R}_{mon} = rata-rata presipitasi bulan mon (mm H₂O)

$R_{day,mon}$ = presipitasi harian untuk hari ke- d bulan mon (mm H₂O)

N = jumlah presipitasi harian pada bulan mon

yrs = jumlah tahun presipitasi harian

6. PCPSTD adalah standar deviasi presipitasi harian dalam bulanan.

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\left[\frac{(\sum_{d=1}^N R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^2}{N - 1} \right]} \quad (2 - 62)$$

Dimana:

σ_{mon} = standar deviasi presipitasi harian bulan *mon* (mm H₂O)

$R_{day,mon}$ = jumlah presipitasi harian untuk hari ke-*d* pada bulan *mon* (mm H₂O)

\bar{R}_{mon} = rata-rata presipitasi harian dalam bulan *mon* (mm H₂O)

N = jumlah presipitasi harian pada bulan *mon*

7. PCPSKW adalah koefisien kepengcengan presipitasi harian bulanan.

$$g_{mon} = \frac{N \cdot \sum_{d=1}^N (R_{day,mon} - \bar{R}_{mon})^2}{(N-1) \cdot (N-2) \cdot (\sigma_{mon})^2} \quad (2-63)$$

Dimana:

g_{mon} = koefisien kepengcengan presipitasi harian bulan *mon*

N = jumlah presipitasi harian pada bulan *mon*

$R_{day,mon}$ = jumlah presipitasi harian untuk hari ke-*d* pada bulan *mon* (mm H₂O)

\bar{R}_{mon} = rata-rata presipitasi harian dalam bulan *mon* (mm H₂O)

σ_{mon} = standar deviasi presipitasi harian bulan *mon* (mm H₂O)

8. PR_W(1, *mon*) adalah probabilitas hari hujan/hari basah (*wet day*) yang mengikuti hari tidak hujan/hari kering (*dry day*), artinya apabila hari ini hujan maka kemarin tidak hujan.

$$P_1 \left(\frac{W}{D} \right) = \frac{days_{W/D,i}}{days_{dry,i}} \quad (2-64)$$

Dimana:

$P_1 \left(\frac{W}{D} \right)$ = probabilitas hari basah yang mengikuti hari kering di bulan *i*

$days_{W/D,i}$ = jumlah hari basah yang mengikuti hari kering

$days_{dry,i}$ = jumlah hari kering selama periode pengukuran

9. PR_W(2, *mon*) adalah probabilitas hari hujan/hari basah (*wet day*) yang mengikuti hari hujan/hari basah (*wet day*), artinya apabila hari ini hujan maka kemarin juga hujan.

$$P_1 \left(\frac{W}{W} \right) = \frac{days_{W/W,i}}{days_{wet,i}} \quad (2-65)$$

Dimana:

$P_1 \left(\frac{W}{W} \right)$ = probabilitas hari basah yang mengikuti hari basah di bulan *i*

$days_{W/W,i}$ = jumlah hari basah yang mengikuti hari basah

$days_{wet,i}$ = jumlah hari basah selama periode pengukuran

10. PCPD (*mon*) adalah rata-rata jumlah hari terjadinya presipitasi dalam bulanan.

$$\bar{d}_{wet,i} = \frac{days_{wet,i}}{yrs} \quad (2 - 66)$$

Dimana:

$\bar{d}_{wet,i}$ = rata-rata jumlah hari terjadinya presipitasi dalam bulan *i*

$days_{wet,i}$ = jumlah hari basah selama periode pengukuran

yrs = jumlah tahun pengukuran

11. SOLARAV (*mon*) adalah rata-rata radiasi sinar matahari harian dalam bulanan.

$$\mu rad_{mon} = \frac{\sum_{d=i}^N H_{day,mon}}{N} \quad (2 - 67)$$

Dimana:

μrad_{mon} = rata-rata radiasi sinar matahari harian untuk bulan mon (MJ/M²/day)

$H_{day,mon}$ = jumlah radiasi sinar matahari pada permukaan bumi pada hari ke-*d* dalam bulan mon

N = jumlah angka radiasi sinar matahari untuk bulan mon

12. WNDAV (*mon*) adalah rata-rata kecepatan angin dalam bulanan.

$$\mu rad_{mon} = \frac{\sum_{d=i}^N \mu_{wdn,mon}}{N} \quad (2 - 68)$$

Dimana:

μrad_{mon} = rata-rata kecepatan angin harian untuk bulan mon (m/s)

$H_{day,mon}$ = jumlah kecepatan angin pada hari ke-*d* bulan mon (m/s)

N = jumlah angka kecepatan angin untuk bulan mon

2.5.5 Limpasan Permukaan (*Surface Runoff*)

Air larian (limpasan permukaan) merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau dan lautan. Air larian terjadi ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam tanah. Setelah laju infiltrasi terpenuhi, air mulai mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah kemudian mengalir secara bebas. Volume dan laju air larian sangat tergantung pada intensitas hujan, bentuk/ukuran, topografi, geologi dan tata guna lahan pada DAS yang bersangkutan.

2.5.5.1 Volume Limpasan Permukaan

Untuk memperkirakan volume air limpasan total dari suatu DAS adalah dengan menggunakan metode *SCS-Curve Number* yang dikembangkan oleh *U.S. Soil Conservation Service*. Metode *SCS* berusaha mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi dan tataguna lahan dengan bilangan kurva air larian *CN* (*runoff curve number*)

yang menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu. Persamaan yang berlaku untuk metode SCS adalah sebagai berikut (Asdak, 2007: 182):

$$Q = \frac{(I - 0,2S)^2}{(I + 0,8S)} \quad (2 - 69)$$

Dimana:

- Q = air larian dengan satuan kedalaman (mm)
- I = curah hujan (mm)
- S = perbedaan antara curah hujan dan air larian (mm)

Persamaan (2-65) menunjukkan bahwa besarnya air larian berkurang dengan meningkatnya air infiltrasi atau nilai S. Untuk memudahkan perhitungan kelembaban awal (*antecedent moisture condition*), tataguna lahan dan konservasi tanah. Dinas Konservasi Tanah Amerika menentukan besarnya S sebagai berikut:

$$S = \left(\frac{25,400}{N} \right) - 254 \quad (2 - 70)$$

Dimana:

N = bilangan kurva air larian (CN), bervariasi dari 0 hingga 100

USDA-SCS mengelompokkan tanah dalam 4 kelompok hidrologi berdasarkan tekstur tanah dan laju infiltrasinya pada setiap tataguna lahan, yaitu:

Tabel 2.8. Pembagian Kelompok Hidrologi Tanah

Kelompok Tanah	Keterangan	Laju Infiltrasi (mm/jam)
A	Potensi limpasan air paling kecil termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu. Laju infiltrasi tinggi.	8 – 12
B	Potensi limpasan air kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari kelompok A. Laju infiltrasi sedang.	4 – 8
C	Potensi limpasan air sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur sedang sampai halus. Laju infiltrasi rendah.	1 – 4
D	Potensi limpasan air tinggi, kebanyakan tanah liat, dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah.	0 – 1

Sumber: Asdak, 2007: 184

Nilai CN pada tabel 2.9 berasal dari daerah beriklim sedang. Namun demikian, nilai CN tersebut cukup memadai untuk digunakan sebagai pengganti apabila nilai CN untuk daerah setempat belum tersedia.

Tabel 2.9. Bilangankurva air larian (CN) untuk kondisi hujan awal II (kelembaban rata-rata) pada tanah pertanian yang ditanami (*SCS Engineering Division, 1986*)

Tataguna Lahan	Cara Bercocok Tanam	Keadaan Hidrologi	Kelompok Tanah			
			A	B	C	D
Tidak dikerjakan	Larikan lurus	-----	77	86	91	94
Tanaman berjajar	Larikan lurus	buruk	72	81	88	91
		baik	67	78	85	89
	Kontur	buruk	70	79	84	88
		baik	65	75	82	86
	Teras	buruk	66	74	80	82
		baik	62	71	78	81
Padi, gandum	Larikan lurus	buruk	63	74	82	85
	Kontur	baik	61	73	81	84
	Teras	buruk	61	72	79	82
baik		59	70	78	81	
Tanaman legum	Larikan lurus	buruk	66	77	85	89
		baik	58	72	81	85
	Kontur	buruk	64	75	83	85
		baik	55	68	78	83
	Teras	buruk	63	73	80	83
		baik	51	67	76	80
Padang rumput		buruk	68	79	86	89
		baik	39	61	74	80
Tegakan hutan tidak rapat		buruk	45	66	77	83
		cukup	36	60	73	79
		baik	25	55	70	77
Tanah pertanian		-----	59	74	82	86

Sumber: Asdak, 2001: 183

Tabel 2.10. Bilangan kurva air larian (CN) untuk kondisi awal II pada tanah pertanian yang lain (SCS Engineering Division, 1986)

Tataguna Lahan	Keadaan Hidrologi	Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Padang rumput terus-menerus untuk tempat penggembalaan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Padang rumput terlindung dari ternak, untuk dipanen	-----	30	58	71	78
Semak-semak rerumputan dengan tumbuhan semak-semaknya yang dominan	Buruk	48	67	77	83
	Cukup	35	56	70	77
	Baik	30	48	65	73
Tanaman kayu – kombinasi rumput dan perkebunan	Buruk	57	73	82	86
	Cukup	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Tegakan hutan tidak rapat	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Tanah pertanian	-----	59	74	82	86

Sumber: AVSWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 96

2.5.5.2 Debit Puncak Limpasan (*Peak Runoff Rate*)

Debit puncak limpasan adalah aliran limpasan maksimum yang terjadi pada saat terjadinya hujan. Debit puncak limpasan merupakan indikator dari kekuatan hujan yang digunakan untuk memprediksi besarnya sedimentasi yang terjadi. Perhitungan debit limpasan puncak menggunakan modifikasi dari metode rasional.

Metode rasional berdasarkan pada asumsi bahwa intensitas curah hujan (i) dimulai pada saat $t = 0$ dan berlangsung terus sampai dengan jangka waktu yang tidak terbatas, sehingga debit limpasan puncak akan terus meningkat sampai pada titik keluaran sub DAS (*outlet*). Persamaan rasional tersebut adalah sebagai berikut:

$$q_{peak} = \frac{C \cdot I \cdot Area}{3,6} \quad (2 - 71)$$

Dimana:

q_{peak} = debit puncak limpasan (*Peak Runoff Rate*) (m^3/dt)

I = intensitas hujan (mm/jam)

$Area$ = luas wilayah sub DAS (km^2)

C = koefisien aliran

3,6 = faktor konversi

2.5.5.2.1 Waktu Konsentrasi (*Time of Concentration*)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dihitung dari mulai jatuhnya hujan pada suatu sub DAS sampai air tersebut mengalir ke *outlet* dari sub DAS tersebut. Waktu konsentrasi adalah waktu perjalanan yang dibutuhkan oleh air dari tempat yang paling jauh (hulu sub DAS) sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut. Waktu konsentrasi dihitung dengan menjumlahkan lamanya waktu yang dilalui oleh air hujan yang jatuh pada suatu titik kemudian mengalir di lahan sampai ke sungai dan akhirnya mengalir di sungai sampai ke *outlet* sungai dari sub DAS tersebut. Persamaannya sebagai berikut:

$$t_{conc} = t_{ov} + t_{ch} \quad (2 - 72)$$

Dimana:

t_{conc} = waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

t_{ov} = waktu konsentrasi untuk aliran di lahan (jam)

t_{ch} = waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

1. Waktu konsentrasi di lahan (*overland flow time of concentration*)

$$t_{ov} = \frac{L_{slp}}{3600 \cdot V_{ov}} \quad (2 - 73)$$

Dimana:

t_{ov} = waktu konsentrasi untuk aliran di lahan (jam)

L_{slp} = panjang lereng di sub DAS (m)

V_{ov} = kecepatan aliran di lahan (*overland flow velocity*) (m/dt)

3600 = faktor konservasi (*unit conservasion factor*)

Kecepatan aliran di lahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Manning* untuk setiap 1 meter panjang sepanjang garis miring permukaan lahan:

$$V_{ov} = \frac{q_{ov}^{0,4} \cdot slp^{0,3}}{n^{0,6}} \quad (2 - 74)$$

Dimana:

V_{ov} = kecepatan aliran di lahan (*overland flow velocity*) (m/dt)

q_{ov} = debit aliran rata-rata di lahan (*average overland flow rate*) (m³/dt)

slp = kemiringan rata-rata di sub DAS (m/m)

n = angka kekasaran *Manning*

Tabel 2.11. Angka Kekasaran Manning (n) untuk Aliran di Lahan (Engman, 1983)

Karakteristik Permukaan Lahan	Median	Range
Tanah kosong, gundul-tanpa sisa tanaman	0,010	0,008 – 0,012
Pengolahan tanah konvensional-tanpa sisa tanaman	0,090	0,060 – 0,120
Pengolahan tanah konvensional-ada sisa tanaman	0,190	0,160 – 0,220
Pengolahan tanah dengan dibajak-tanpa sisa tanaman	0,090	0,060 – 0,120
Pengolahan tanah dengan dibajak-ada sisa tanaman	0,130	0,100 – 0,160
Tanaman musiman-ada sisa tanaman	0,400	0,300 – 0,500
Tanah tidak dikerjakan-tanpa sisa tanaman	0,070	0,040 – 0,100
Tanah tidak dikerjakan-ada sisa tanaman 0,5 – 1 ton/ha	0,120	0,070 – 0,170
Tanah tidak dikerjakan-ada sisa tanaman 2 – 9 ton/ha	0,300	0,170 – 0,470
Tanah berteras, 20% ditanami	0,600	
Padang rumput pendek yang luas	0,150	0,100 – 0,200
Rumput tebal	0,240	0,170 – 0,300
Rumput bermuda	0,410	0,300 – 0,480

Sumber: AVSWAT Theoretical Documentation 2000, 2002: 105

2. Waktu konsentrasi aliran di sungai/saluran (*channel flow time of concentration*)

$$T_{ch} = \frac{l_c}{3,6 \cdot v_c} \quad (2-75)$$

Dimana:

T_{ch} = waktu konsentrasi untuk aliran di sungai (jam)

l_c = panjang rata-rata di sub DAS (km)

v_c = kecepatan aliran di sungai (*channel flow velocity*) (m/dt)

3,6 = faktor konservasi (*unit conversion factor*)

Panjang rata-rata saluran dihitung dengan persamaan:

$$L_c = \sqrt{L \cdot L_{cen}} \quad (2-76)$$

Dimana:

L_c = panjang rata-rata saluran di sub DAS (km)

L = panjang saluran dari titik terjauh sampai ke *outlet* sub DAS (km)

L_{cen} = jarak antara sepanjang saluran dengan titik tengah sub DAS (km)

Diasumsikan $L_{cen} = 0,5L$, maka panjang rata-rata saluran di sub DAS adalah:

$$L_c = 0,71L \quad (2-77)$$

Kecepatan rata-rata dapat dihitung dengan rumus *manning*, dengan asumsi penampang melintang saluran berbentuk trapesium, kemiringan tebing saluran 2 : 1 dan rasio

perbandingan lebar dasar saluran dengan tinggi saluran adalah 10 : 1, sehingga akan di dapatkan persamaan:

$$V_c = \frac{0,489 \cdot q_{ch}^{0,25} \cdot slp_{ch}^{0,375}}{n^{0,75}} \quad (2-78)$$

Dimana:

V_c = kecepatan rata-rata aliran saluran (*average channel velocity*) (m/dt)

q_{ch} = debit rata-rata di saluran (*average channel rate*) (m³/dt)

slp_{ch} = kemiringan saluran (m/m)

n = koefisien kekasaran *manning* di saluran

Untuk menghitung debit rata-rata aliran di saluran menggunakan rumus:

$$q_{ch} = \frac{q_{ch} \cdot Area}{3,6} \quad (2-79)$$

Dimana:

$Area$ = luas sub DAS (km²)

q_{ch} = debit rata-rata di saluran (mm/jam)

q_{ch} merupakan debit yang terjadi pada unit satuan luas (unit satuan luas = 1 ha), dihitung dengan persamaan:

$$q_{ch} = q_0 \cdot (100 \cdot Area)^{-0,5} \quad (2-80)$$

Dimana:

q_0 = debit pada suatu unit satuan luas (mm/jam)

100 = faktor konversi

2.5.5.2.2 Koefisien Aliran

Angka koefisien aliran (C) merupakan bilangan perbandingan laju debit puncak dengan intensitas hujan dan merupakan bilangan tanpa satuan. Dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{Q_{surf}}{R_{day}} \quad (2-81)$$

Dimana:

Q_{surf} = kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff excess*) (mm)

R_{day} = jumlah hujan pada satu hari (mm H₂O)

2.5.5.2.3 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah hujan persatuan waktu, dihitung dengan rumus:

$$i = \frac{R_{tc}}{t_{conc}} \quad (2-82)$$

Dimana:

i = intensitas hujan (mm/jam)

R_{tc} = tinggi hujan selama waktu konsentrasi (mm)

t_{conc} = waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

Suatu analisa data curah hujan yang dikumpulkan oleh *Hershfield* (1961) dalam jangka waktu dan frekwensi yang berbeda-beda menunjukkan bahwa jumlah hujan yang jatuh sepanjang waktu konsentrasinya sebanding dengan hujan yang jatuh selama periode 24 jam.

$$R_{tc} = \alpha_{tc} \cdot R_{day} \quad (2 - 83)$$

Dimana:

α_{tc} = fraksi curah hujan harian yang terjadi selama waktu konsentrasinya

R_{day} = jumlah hujan yang terjadi dalam 1 hari (mm)

Untuk durasi hujan pendek, semua hujan yang jatuh sepanjang waktu konsentrasinya menyebabkan α_{tc} mendekati batas atasnya 1. Nilai minimum α_{tc} terjadi jika intensitas hujan yang terjadi seragam ($i_{24} = i$).

Nilai minimum ini dapat didefinisikan dengan mensubstitusikan persamaan (2 - 82) dan ($i_{24} = i$) ke dalam persamaan (2 - 84):

$$\alpha_{tc, min} = \frac{R_{tc}}{R_{day}} = \frac{i \cdot t_{conc}}{i_{24} \cdot 24} = \frac{t_{conc}}{24} \quad (2 - 84)$$

Dimana besarnya α_{tc} adalah $t_{conc} / 24 \leq \alpha_{tc} \leq 1,0$

AVSWAT memperkirakan fraksi dari curah hujan yang terjadi dalam waktu konsentrasi tertentu sebagai fungsi fraksi dari curah hujan harian dengan waktu setengah jam dari intensitas hujan maksimumnya:

$$\alpha_{tc} = 1 - \exp[2 \cdot t_{conc} \cdot \ln(1 - \alpha_{0,5})] \quad (2 - 85)$$

Dimana:

t_{conc} = fraksi curah hujan harian selama waktu setengah jam dari intensitas hujan tertingginya.

$\alpha_{0,5}$ = waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

2.5.5.2.4 Modifikasi Rumus Rasional

Modifikasi rumus rasional digunakan untuk memperkirakan besarnya debit puncak limpasan, didapatkan dengan menggunakan rumus:

$$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} \cdot Q_{surf} \cdot Area}{3,6 t_{conc}} \quad (2 - 86)$$

Dimana:

q_{peak} = debit puncak limpasan (*peak runoff rate*) (m^3/dt)

α_{tc} = fraksi curah hujan harian yang terjadi selama waktu konsentrasinya

$Area$ = luas wilayah sub DAS (km^2)

t_{conc} = waktu konsentrasi di sub DAS (jam)

3,6 = faktor konversi

Q_{surf} = kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

2.5.6 Teori Dalam AVSWAT 2000

2.5.6.1 Automatic Delineation

Automatic Delineation digunakan untuk mendapatkan sungai sintetis dan definisi *outlet* yang ada pada suatu DAS. Sungai sintetis didapat dari pengolahan *input* data peta kontur yang sudah dikonversi dalam bentuk *grid* dengan metode *TIN (Triangular Irregular Network)*. Di dalam menu ini terdapat perintah untuk membangkitkan sungai sintetis lengkap dengan dimensinya (panjang, lebar, kedalaman sungai) dan menentukan lokasi *outlet* secara otomatis oleh program berdasarkan percabangan anak sungai sintetis untuk membagi DAS kedalam sub-sub DAS. Program melambangkan lokasi *outlet* dengan titik. Titik-titik *outlet* dapat ditentukan secara manual oleh pengguna. Pengguna dapat memodifikasi (menambah atau mengurangi) titik *outlet* bahkan menghapus titik *outlet* yang tidak dikehendaki dalam gambar. Pengguna dapat pula mendefinisikan suatu titik *outlet* sebagai *point source* (waduk/dam/bendungan) atau dapat juga didefinisikan sebagai *inlet*.

Untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi, *software AVSWAT 2000* menggunakan model DEM (*Digital Elevation Model*). DEM atau DTM (*Digital Terrain Model*) adalah salah satu metode pendekatan yang biasa dipakai untuk memodelkan relief permukaan bumi dalam bentuk 3 dimensi. Penggunaan model permukaan digital dalam proses analisis limpasan permukaan merupakan langkah yang tepat dimana model permukaan digital yang mempresentasikan permukaan relief bumi akan membantu ketelitian dalam mengidentifikasi kemiringan lahan, arah aliran, akumulasi aliran, panjang lintasan aliran dan penentuan daerah hujan. Terdapat beberapa metode untuk menggambarkan bentuk permukaan bumi dalam model permukaan digital, yaitu model *grid* dalam bentuk persegi, model *TIN (Triangulated Irregular Network)* dalam bentuk segitiga yang tidak beraturan dan yang terakhir adalah *CA (Cellular Automata)* yaitu dalam bentuk segitiga, segi empat atau segi enam beraturan. Dari berbagai metode yang ada, metode persegi merupakan metode yang paling banyak digunakan, (Laurini 1992, dalam Sutan Haji) hal ini dikarenakan bentuk persegi mempunyai kemudahan dalam perhitungan dan visualisasinya apabila dibandingkan dengan bentuk lainnya.

2.5.6.2 Land Use & Soil Defination

Dalam *Land Use & Soil Defination*, program akan mengklasifikasi dan mendefinisikan kombinasi dan distribusi penggunaan lahan dan jenis tanah dengan meng-*overlay*-kan peta tata guna lahan dan peta jenis tanah untuk menentukan daerah dan parameter hidrologi setiap kategori lahan-tanah yang ada pada setiap sub-sub DAS. Program ini akan meminta input data peta digital tata guna lahan dan peta jenis tanah beserta data-data spasialnya.

2.5.6.3 HRU Distribution

HRU (*Hydrologic Response Unit*) digunakan untuk menghitung evapotranspirasi pada lahan di DAS. Lahan DAS yang dimaksud adalah penutup lahan/tanaman dan jenis tanah.

Pembagian DAS kedalam sub-sub DAS mengakibatkan setiap sub-sub DAS mempunyai informasi tata guna lahan dan klasifikasi tanah yang berbeda-beda. Hal ini memudahkan program untuk merefleksikan perbedaan evapotranspirasi dan kondisi-kondisi hidrologi lainnya untuk setiap tanaman/penutup lahan dan jenis tanah pada setiap sub-sub DAS.

2.5.6.4 Hasil Simulasi Program AVSWAT 2000

Terdapat 3 file utama untuk *output running simulation AVSWAT* yang masing-masing mempunyai penjelasan yang berbeda-beda. File-filenya adalah:

1. Subbasin Output File (*.BSB)

File ini berisi tentang informasi yang ada pada masing-masing sub DAS atau juga ringkasan pada HRU pada setiap sub DAS. Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah:

- SUR Q = limpasan permukaan sub DAS yang masuk ke badan saluran.
- SYLD = sedimen yang tertransportasi selama periode tertentu.

2. Main Channel Output File (*.RCH)

File ini berisi ringkasan informasi muatan komponen-komponen DAS yang masuk dan keluar saluran. Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah:

- FLOW_IN = rata-rata debit perhari yang masuk
- FLOW_OUT = rata-rata debit perhari yang keluar
- SED_IN = jumlah sedimen yang tertransportasi masuk selama periode waktu tertentu

- SED_OUT = jumlah sedmen yang tertransport keluar selama periode waktu tertentu
- SEDCONC = konsentrasi sedimen selama periode waktu tertentu

3. HRU Output File (*.SBS)

Parameter-parameter penting yang mengacu dengan studi ini adalah:

- SUR Q = limpasan permukaan sub DAS yang masuk ke badan saluran
- SYLD = sedimen yang tertransport selama periode tertentu
- USLE = erosi yang dihitung dengan rumus USLE selama periode tertentu

2.6 Analisa Akurasi Model

2.6.1 Kesalahan Relatif

Untuk mengetahui keakuratan dari hasil pemodelan maka debit hasil pemodelan dibandingkan dengan data debit hasil pengamatan. Apabila kesalahan relatif data debit hasil keluaran model dengan data debit pengamatan tidak melebihi dari 20 %, maka hasil keluaran model dianggap mendekati kondisi sebenarnya dilapangan dan bisa diterima.

$$KR = \left(\frac{Q_{lapangan} - Q_{model}}{Q_{lapangan}} \right) \times 100 \quad (2 - 87)$$

2.6.2 Analisis Regresi

Analisis regresi adalah analisis yang membahas hubungan dua variabel atau lebih. Derajat hubungan tersebut umumnya dinyatakan secara kuantitatif sebagai koefisien korelasi.

Nilai koefisien korelasi berkisar antara $-1,0 \leq R \leq 1,0$. Nilai ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

- R = 1 : hubungan positif sempurna
- $0,6 < R < 1$: hubungan langsung positif baik
- $0 < R < 0,6$: hubungan langsung positif lemah
- R = 0 : tidak terdapat hubungan linier
- $-0,6 < R < 0$: hubungan langsung negatif lemah
- $-1 < R < -0,6$: hubungan langsung negatif baik
- R = -1 : hubungan negatif sempurna

2.6.3 Nash-Sutcliffe Efisiensi (NSE)

Nash-Sutcliffe digunakan untuk mengetahui perbedaan antara data dan model atau menilai daya prediksi/akurasi antara model dan data dengan rumus sebagai berikut:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (2 - 88)$$

Dimana:

E = Efisiensi Perbedaan

O_i = Nilai Data

P_i = Nilai Model

\bar{O}_i = Nilai Rata-rata data

Dengan nilai E antara 1 (sempurna atau kesesuaian model dan data adalah akurat) hingga $-\infty$. Nilai $E > 0$ menunjukkan bahwa prediksi model adalah akurat dibandingkan data, nilai $E < 0$ menunjukkan data lebih akurat daripada model (Krause *et all*, 2005)

2.6.4 Metode Koefisien Performance (Cp)

Metode ini berfungsi mengevaluasi perbedaan prosedur statistik prediksi hidrologi aliran air yaitu besaran debit di titik outlet pengukuran dengan prediksi *software* AVSWAT 2000 untuk harian dan bulanan. Berikut keterangan untuk masing-masing nilai Cp dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Nilai Cp dan Keterangan

No	Cp	Keterangan
1	0.00- 0.30	Sempurna
2	0.3 – 0.5	Bagus
3	0.5 – 0.7	Rata-rata
4	0.7 – 1.0	Jelek
5	> 1.0	Prediksi lebih jelek daripada pengamatan

Nilai Cp dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Cp = \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (P_i - O_{avg})^2} \quad (2 - 89)$$

Dengan P_i = Prediksi

O_{avg} = Rata-rata Pengamatan

O_i = Pengamatan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Daerah Studi

Wilayah studi terletak pada Sub DAS Manting. Secara astronomis Sub DAS Manting terletak pada 7°18'35" LS - 7°47'30" LS dan 5°31'45" BT - 5°52'00" BT. Wilayah studi ini memiliki luas sebesar ± 816,625 Ha dengan batas-batas sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Gresik
- Sebelah Timur : Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Pasuruan
- Sebelah Selatan : Kabupaten Malang
- Sebelah barat : Kabupaten Jombang

Data hujan yang dipakai diambil dari 1 stasiun pencatat hujan yaitu stasiun Cakarayam. Dari stasiun hujan tersebut diambil data pengamatan dari tahun 2001 – 2010.

Untuk lebih jelasnya, gambar Sub DAS Manting dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1. Lokasi Studi

3.2 Sistematika Pengerjaan Studi

3.2.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan studi ini diperlukan data-data yang mendukung baik itu data primer maupun data sekunder. Yang dimaksud data sekunder adalah data yang bersumber dari instansi-instansi yang terkait dan pernah dilakukan pengukuran, sedangkan data primer diperoleh berdasarkan pengukuran langsung di lapangan. Secara umum data yang diperlukan dalam studi ini adalah:

- a. Data curah hujan harian tahun 2001 – 2010 dari BMG Karang Ploso
- b. Data klimatologi
- c. Peta tata guna lahan area Sub DAS Manting
- d. Peta batas DAS dan jaringan sungai
- e. Peta jenis tanah untuk area Sub DAS Manting

Semua data yang berupa data *spasial* (peta) akan didigit dalam format CAD dengan skala dan koordinat yang sama. Selanjutnya diexport sebagai data vektor untuk program ArcView GIS 3.3.

3.2.2 Langkah-langkah Penyelesaian Masalah Studi

1. Menyiapkan data-data untuk input data yang diatur dan diolah sedemikian rupa sehingga sesuai dengan format yang diminta program AVSWAT agar dapat bekerja dengan baik pada saat menjalankan program simulasinya. Data-data yang disesuaikan formatnya adalah:
 - a. Data curah hujan
 - b. Peta topografi
 - c. Peta tata guna lahan
 - d. Peta jenis tanah
2. Menampilkan peta lokasi studi
 - a. Peta topografi
 - b. Peta tata guna lahan
 - c. Peta jenis tanah
 - d. Peta sungai
3. Metode pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*)
 - a. Mempersiapkan peta topografi digital dengan skala 1:25000
 - b. Meng-export *polyline* kontur peta topografi tersebut kedalam format file ArcView (*.shp) dengan bantuan CAD2Shape 1.0.

- c. Menggabungkan *theme* dari peta kontur yang sudah dalam format (*.shp) tersebut dengan program ArcView 3.3 dari fasilitas *Geo Processing Wizard* dengan pilihan option adalah *merge theme together*
 - d. Membangkitkan hasil gabungan (*merge*) peta kedalaman DEM dalam bentuk 3 dimensi pada menu file, setelah aktif pada menu *Surface* pilih sub menu *Create TIN (Triangular Irregular Network)*.
 - e. Setelah berhasil membuat TIN, konversi DEM dari format TIN ke dalam struktur format *grid*. Identifikasi anomali atau yang disebut *sink* dari DEM dengan memilih menu *Theme*, kemudian pilih sub menu *Convert to grid*.
 - f. Pilih menu *AVSWAT*, pilih menu *Automatic Delineation* yang kemudian akan muncul *dialog box* berjudul *watershed delineation*.
 - g. Dalam *DEM Set Up*, pilih gambar map terbuka untuk membuka file peta, kemudian pilih peta yang dijadikan DEM.
 - h. Pilih perintah *properties* untuk memproyeksikan gambar DEM yang telah berhasil dibuat. Proyeksi dalam studi ini menggunakan metode UTM 1983 dengan zona 49.
 - i. Pilih perintah *apply* untuk mengkonfirmasi.
4. Membangkitkan jaringan sungai sintetis (stream network) dari DEM
 - a. Pada *dialog box Watershed Delineation – Stream Definition*, pada baris *threshold area*, isikan suatu angka untuk mendefinisikan jaringan sungai (aliran sungai utama dan anak sungai) pada gambar. Terdapat batas minimal dan maksimal angka yang diisikan. Semakin kecil angka, maka semakin banyak anak sungai yang didefinisikan.
 - b. Pilih perintah *apply* untuk mengkonfirmasi.
 - c. Membandingkan/mengkoreksi peta jaringan sungai sintetis dengan peta sungai asli, apabila tidak terjadi perbedaan yang mencolok maka peta jaringan sungai sintetis dapat diterima.
 5. Membuat daerah tangkapan sungai (Catchment Area)
 - a. Pada *dialog box Watershed Delineation – outlet and inlet definition*, pilih perintah *add/remove/redefine* untuk mendefinisikan *outlet* utama dari DAS daerah studi dari *point outlet* pada suatu peta *outlet* jaringan.
 - b. Pilih perintah *select* pada baris *Main watershed outlet(s) selection and definition* untuk memilih satu atau lebih *outlet* yang mendefinisikan untuk *outlet* utama dari *outlet-outlet* yang telah dibuat.
 - c. Pilih perintah *apply* untuk memproses deliniasi DAS daerah studi.

- d. Dari proses tersebut akan didapatkan peta batas DAS daerah studi dalam format vector (*.shp).
 - e. Melakukan kalkulasi parameter DAS, untuk mendapatkan data topografi yang berisi data statistik distribusi luasan dan elevasi untuk setiap DAS daerah studi.
6. Pengelolaan peta tata guna lahan
- a. Klasifikasi *polygon* tata guna lahan menurut model klasifikasi AVSWAT.
 - b. Menjalankan *extension AVSWAT 2000* dari perangkat lunak ArcView 3.3.
 - c. Menjalankan menu *Land Use and Soil Definition* dari menu toolbar AVSWAT 2000, untuk melakukan analisa spasial peta tata guna lahan.
 - d. Dari peta tata guna lahan yang sudah ditambahkan ke dalam *view* didefinisikan menurut klasifikasi tata guna lahan AVSWAT sesuai dengan kategorinya.
 - e. Memproses klasifikasi ulang, sehingga akan didapatkan peta *grid* tata guna lahan menurut AVSWAT (*AVSWAT Land Use Class*).
7. Pengolahan peta jenis tanah:
- a. Klasifikasi *polygon* jenis tanah menurut model klasifikasi AVSWAT.
 - b. Menjalankan *extension AVSWAT 2000* dari perangkat lunak ArcView 3.3.
 - c. Menjalankan menu *Land Use and Soil Definition* dari menu toolbar AVSWAT 2000, untuk melakukan analisa spasial peta jenis tanah.
 - d. Dari peta jenis tanah yang sudah ditambahkan ke dalam *view* didefinisikan menurut klasifikasi jenis tanah AVSWAT sesuai dengan kategorinya.
 - e. Memproses klasifikasi ulang, sehingga akan didapatkan peta *grid* jenis tanah menurut AVSWAT (*AVSWAT Soil Class*).
- Setelah membuat *AVSWAT Land Use Class* dan *AVSWAT Soil Class*, dilakukan overlay antara peta *grid* tata guna lahan dengan peta *grid* jenis tanah. Dari hasil overlay tersebut akan menghasilkan *Land Use Soil Report* yang mendeskripsikan secara detail distribusi tata guna lahan dan jenis tanah pada sub DAS Manting tersebut.
8. Menjalankan menu HRU (*Hidrologic Response Unit*):
- Menjalankan menu *HRU Distribution* dari *toolbar AVSWAT 2000* untuk memproses distribusi *Hidrologic Response Unit* dari setiap sub DAS, sehingga akan dihasilkan database tabel *Distrswat* yang berisi informasi penyebaran distribusi tata guna lahan dan jenis tanah pada DAS.
9. Pengolahan database pada AVSWAT 2000, meliputi curah hujan dan klimatologi, sedangkan pembuatan database curah hujan dan klimatologi meliputi:

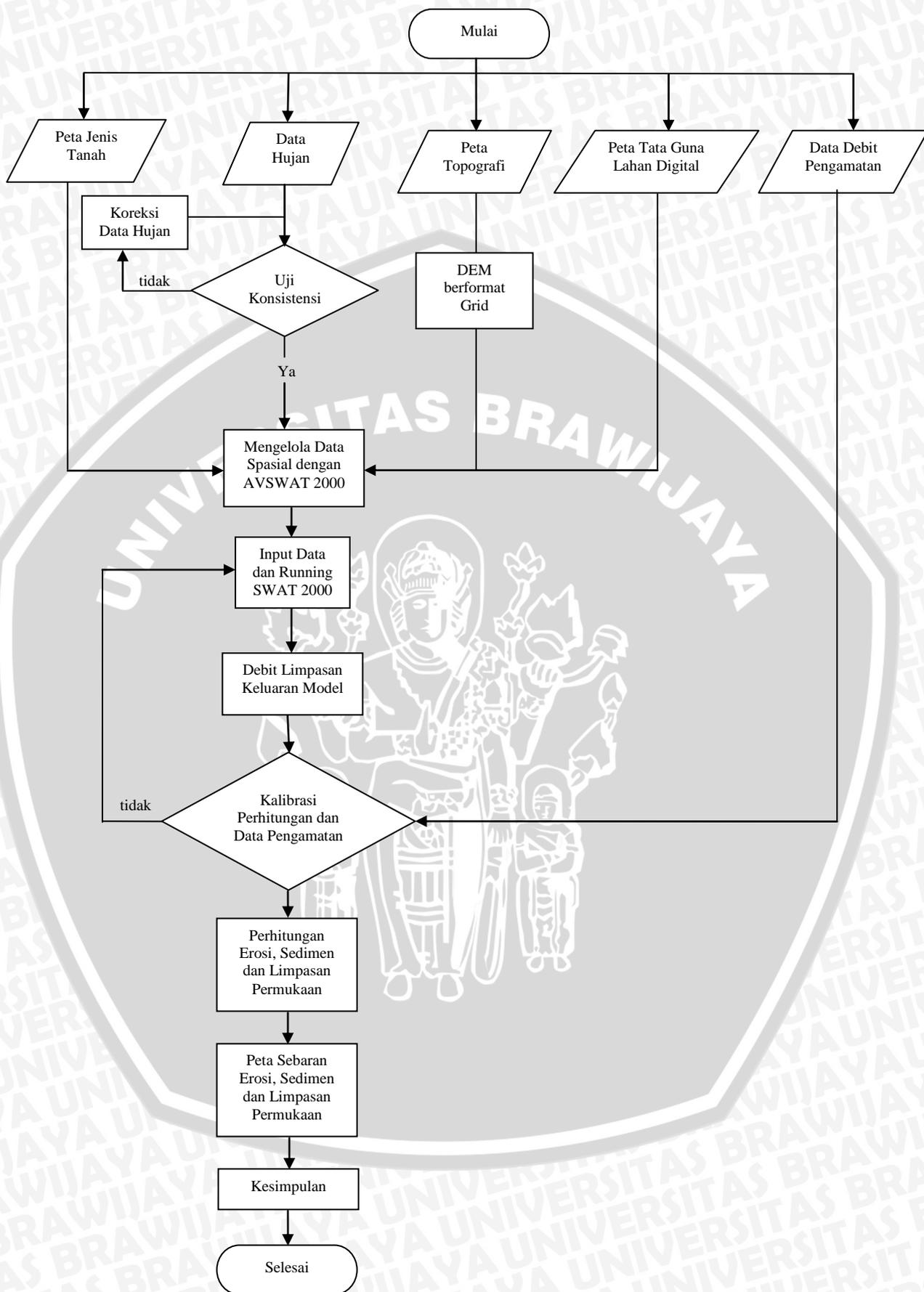
- a. Membuat koordinat-koordinat unsur titik stasiun curah hujan dan database curah hujan hariannya.
 - b. Menjalankan menu *Weather Stations* dari menu *input* pada *toolbar AVSWAT 2000* untuk melakukan import data stasiun hujan dan data curah hujan harian.
10. *Input AVSWAT* dengan menjalankan menu *Write all* yang akan melakukan input dari hasil proses data-data yang telah didefinisikan sebelumnya.
11. Pengecekan data-data dari menu sub basins data pada menu *toolbar edit input AVSWAT 2000*.
12. Menjalankan menu *Run SWAT* dari menu *simulation* pada *toolbar AVSWAT 2000*.
- a. Melakukan setup untuk periode waktu simulasi dan frekuensi waktu hasil running.
 - b. Running SWAT dari tool setup SWAT Run.

Dari hasil running tersebut akan didapatkan database tabel erosi dan hasil sedimentasi yang dipresentasikan untuk setiap sub DAS sesuai dengan periode waktu simulasi dan frekuensi waktunya.

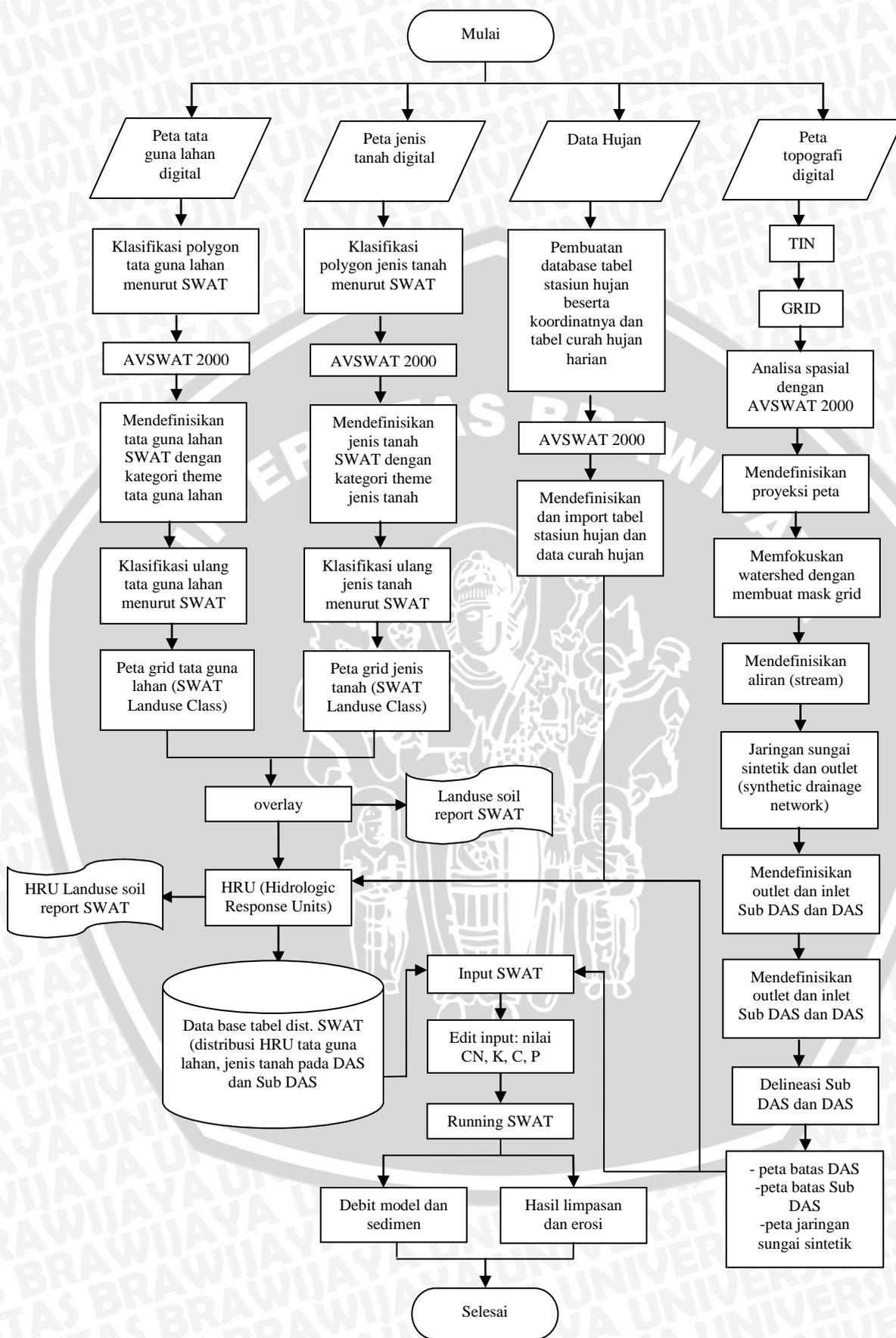
3.3.3 Analisa Hasil Perhitungan

Setelah melakukan langkah-langkah pengolahan data dan perhitungan seperti yang telah disebutkan di atas, akan didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

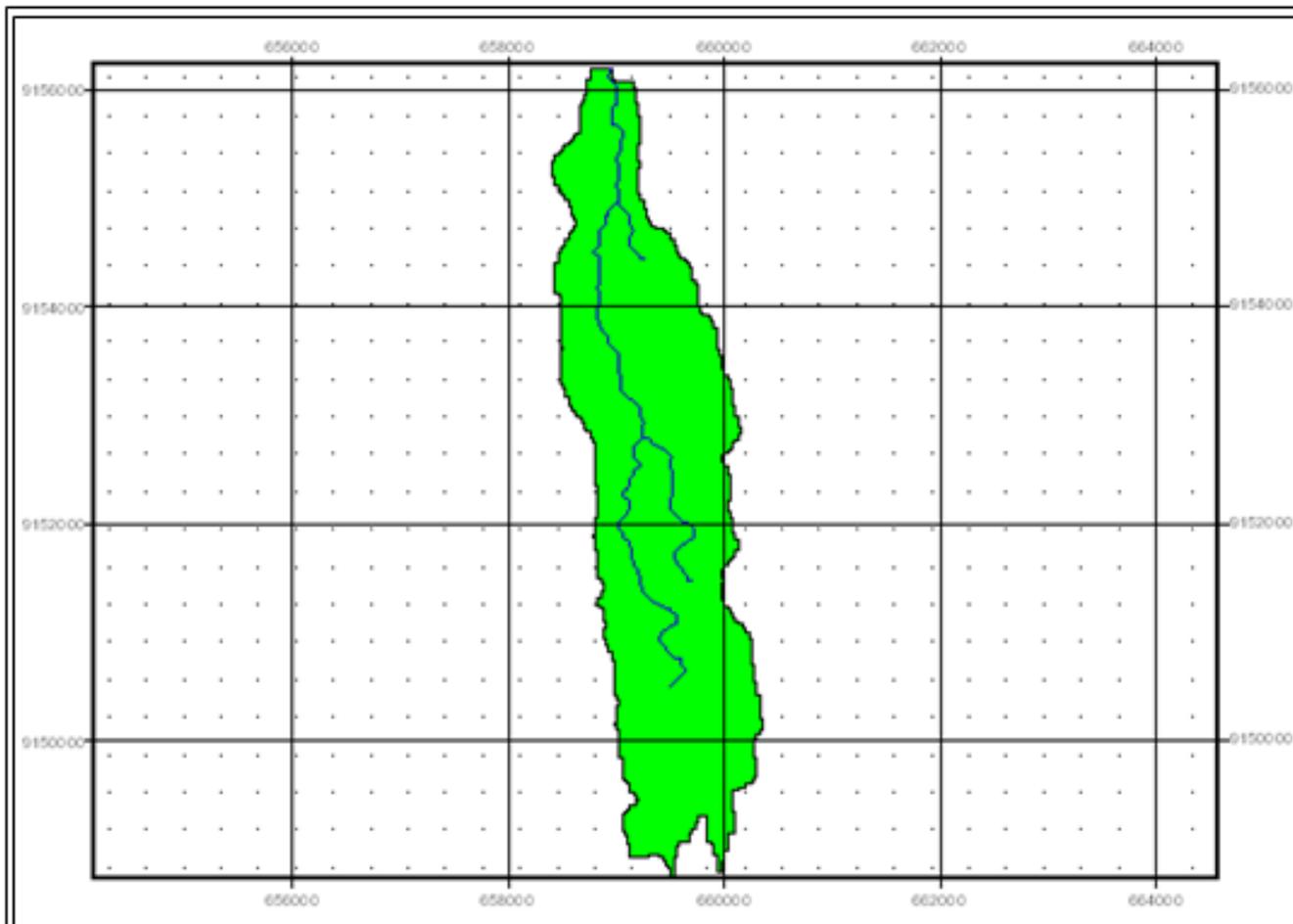
1. Mendapatkan hasil keluaran berupa nilai debit dan sedimen tiap-tiap sub DAS.
2. Melakukan pengecekan antara bagian hulu dan hilir serta membandingkan nilai hasil perhitungan tersebut dengan asumsi bahwa nilai di hilir lebih besar dari nilai di hulu.
3. Melakukan pengecekan nilai keluaran running dengan perhitungan manual dan hasil bacaan di lapangan.
4. Mengkoreksi kesalahan-kesalahan yang terjadi bila hasil yang didapat jauh dari bacaan di lapangan.
5. Melakukan kalibrasi nilai input hingga didapatkan nilai hasil running program mendekati kenyataan di lapangan.
6. Melakukan running program untuk mendapatkan hasil debit limpasan, erosi dan sedimen serta melakukan klasifikasi hasil perhitungan.
7. Membuat peta tematik sebaran sedimen, limpasan permukaan dan erosi.



Gambar 3.3. Diagram Alir Penyelesaian Skripsi



Gambar 3.4. Diagram Alir Penyelesaian Prediksi Erosi, Sedimentasi dan Limpasan Permukaan Menggunakan Model AVSWAT



APLIKASI SIG UNTUK ANALISA EROSI, SEDIMEN DAN LIMPASAN PERMUKAAN DI SUB DAS MANTING KABUPATEN MOJOKERTO

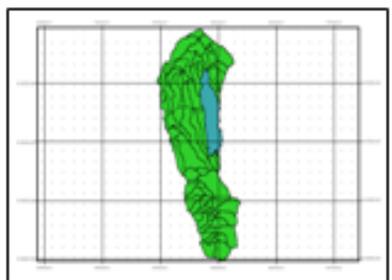
PETA SUB DAS MANTING



SKALA 1 : 300000

KETERANGAN:

-  Sungai
-  Batas Sub DAS



KABUPATEN MOJOKERTO



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK PENGAIRAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

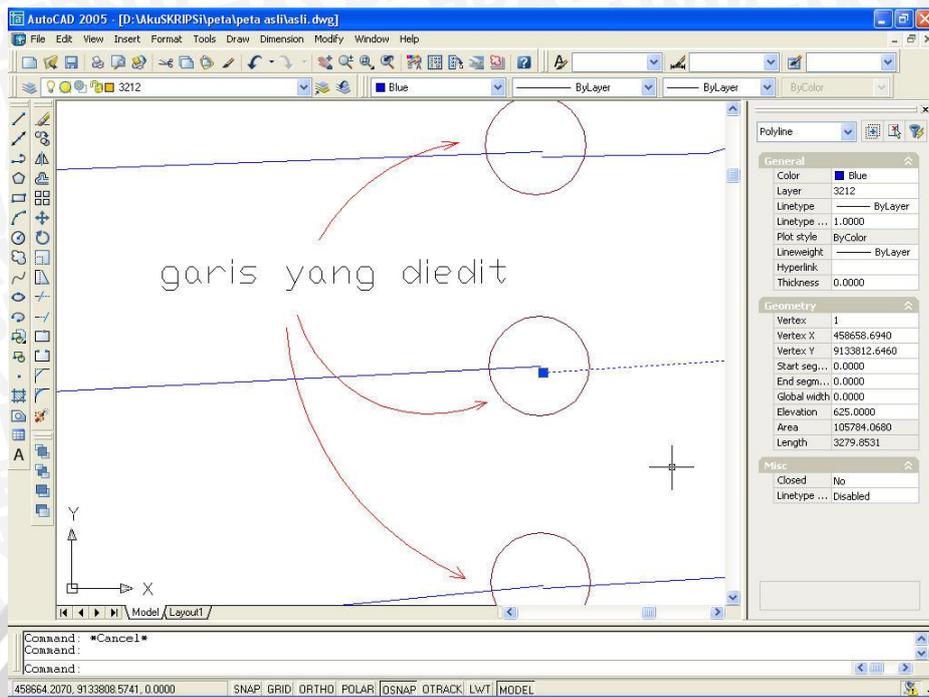
4.1 Tahapan Pengolahan Data

Studi analisa debit, erosi dan sedimen pada Sub DAS Manting ini diawali dengan identifikasi wilayah yang akan dikaji, baik berdasarkan batas administrasi atau berdasarkan daerah aliran sungai.

4.1.1 Penentuan Batas DAS dan Pembuatan DEM AVSWAT 2000

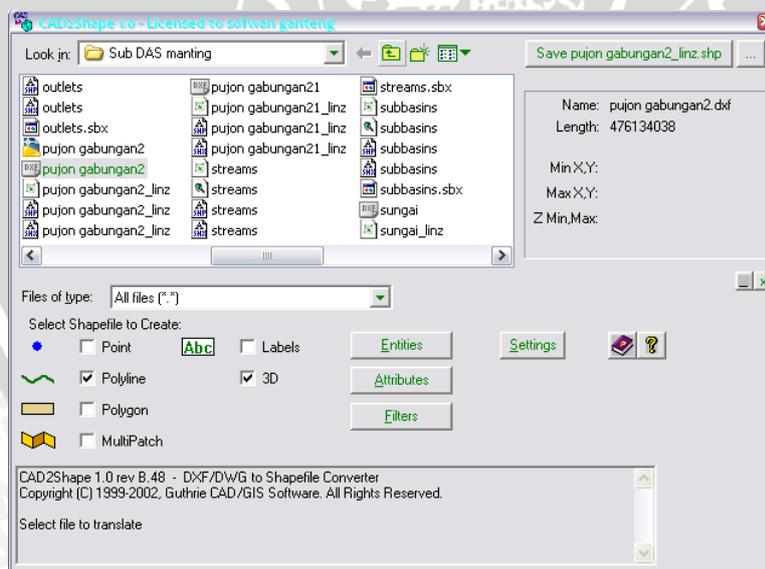
Penentuan batas DAS pada studi ini menggunakan bantuan software *ArcView GIS 3.3*. Dalam hal ini menentukan batas DAS pada *ArcView GIS 3.3* dibutuhkan beberapa *extension* sebagai alat bantu antara lain *GeoProcessing Wizard*, *Spatial Analyst*, *Hydrologic Modelling*, *3D Analyst*, *Xtools*, dan *AVSWAT 2000*. Berikut merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam menggambarkan batas DAS:

1. Mempersiapkan peta topografi digital dengan skala 1 : 25000 dari BAKOSURTANAL yang meliputi wilayah Sub DAS Manting. Format *file* dalam program autocad (*.dwg).
2. *Site* peta diatas digabungkan pada Autocad sesuai dengan koordinat pertemuan yaitu koordinat *Universal Transfer Mercator (UTM)*.
3. Selanjutnya hasil penggabungan peta tersebut tidak dapat sepenuhnya tergabung. Oleh karena itu perlu dilakukan proses pemeriksaan dan perbaikan yakni proses *editing*. Pada proses ini yang perlu diperhatikan adalah:
 - Pemeriksaan terhadap jenis garis yang terdapat pada tiap *site* peta yang digabung. Apabila jenis garis berupa *polyline*, maka garis tersebut tidak perlu *diedit*. Sedangkan bila terdapat jenis garis berupa 3D *polyline*, maka garis tersebut harus *diexplode* (pemisahan) agar jenis garisnya berubah menjadi *line*.
 - Pada tepi pertemuan peta gabungan, terdapat garis yang tidak tersambung secara sempurna. Garis ini perlu perbaikan agar tergabung secara sempurna.
 - Selanjutnya semua garis dapat *dijoint* (penggabungan), agar pada semua garis kontur didapatkan jenis garis yang sama yaitu *polyline*.



Gambar 4.1 Tampilan proses editing

4. Format file dalam program *Autocad* (*.dwg). Setelah diolah dengan *Autocad*, selanjutnya file tersebut disimpan dalam format (*.dwg). Kemudian peta di_export *polyline* kontur kedalam format file program *ArcView* (*.shp) dengan bantuan program *CAD2Shape*. Contoh tampilan program ini pada gambar 4.2.

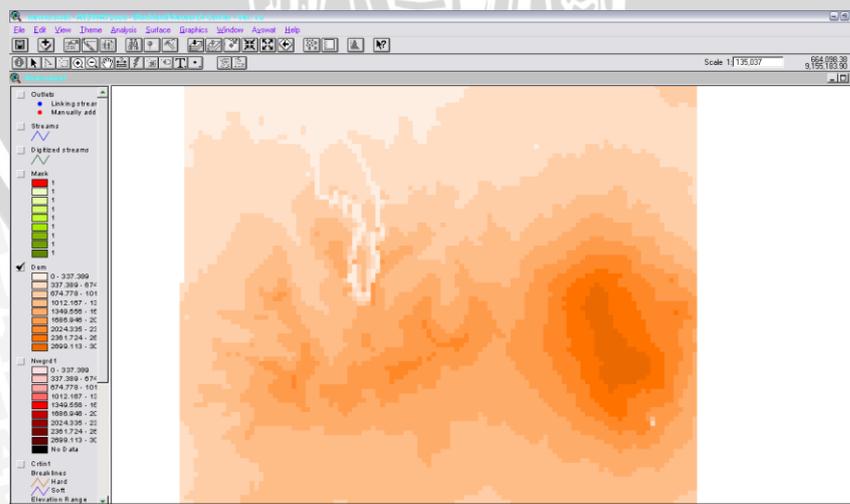


Gambar 4.2 Tampilan CAD2Shape

Proses pemilihan *polyline* kontur peta topografi pada program *CAD2Shape* 1.0 tersebut didasarkan pada kode unsur topografi, dimana setiap kode mewakili satu layer dan satu unsur topografi sebagai berikut:

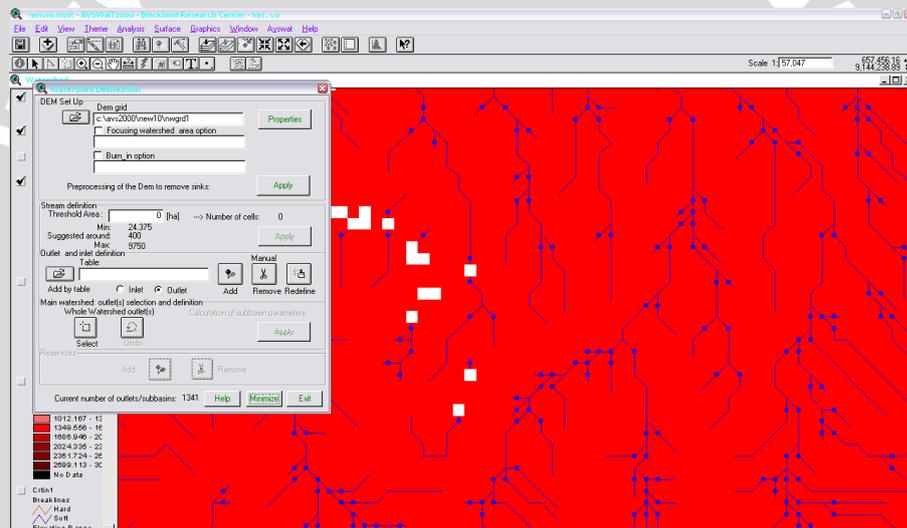
- 3212 : garis kontur (12,5 m)

- 3222 : garis kontur indeks (50 m)
 - 3232 : garis kontur antara (6,25 m)
 - 3242 : garis kontur depresi (12,5 m)
 - 3282 : garis kontur depresi, indeks (50 m)
 - 3292 : garis kontur depresi, garis antara (6,25 m)
 - 3512 : garis kontur (12,5 m)
 - 3522 : garis kontur indeks (50 m)
 - 3532 : garis kontur antara (6,25 m)
 - 3542 : garis kontur depresi (12,5 m)
 - 3582 : garis kontur depresi, indeks (50 m)
 - 3592 : garis kontur depresi, garis antara (6,25 m)
5. Hasil file yang didapatkan pada program *SAD2Shape* 1.0 adalah berformat (*.*shp*), sesuai dengan *layer* yang dipilih. Dalam hal ini *layer* yang di_ *export polyline* yaitu *layer* topografi.
 6. Selanjutnya menjalankan program *ArcView GIS 3.3* dan membuat *view* untuk batas DAS. Kemudian mengatur system proyeksi yang digunakan pada *view properties*. Kontur dan sungai yang sudah dalam format *file* (*.*shp*) tersebut di_ *input*.
 7. Hasil gabungan peta dibangkitkan ke dalam *DEM* dalam bentuk 3 dimensi dengan format *TIN* (*Triangular Irregular Network*) dari *toolbar surface* dengan pilihan *option* adalah *create TIN format features*.
 8. *DEM* dikonversi dari format *TIN* ke dalam struktur format *grid* dengan ukuran sel 150 m × 150 m. Perintah yang digunakan adalah *convert to grid*.



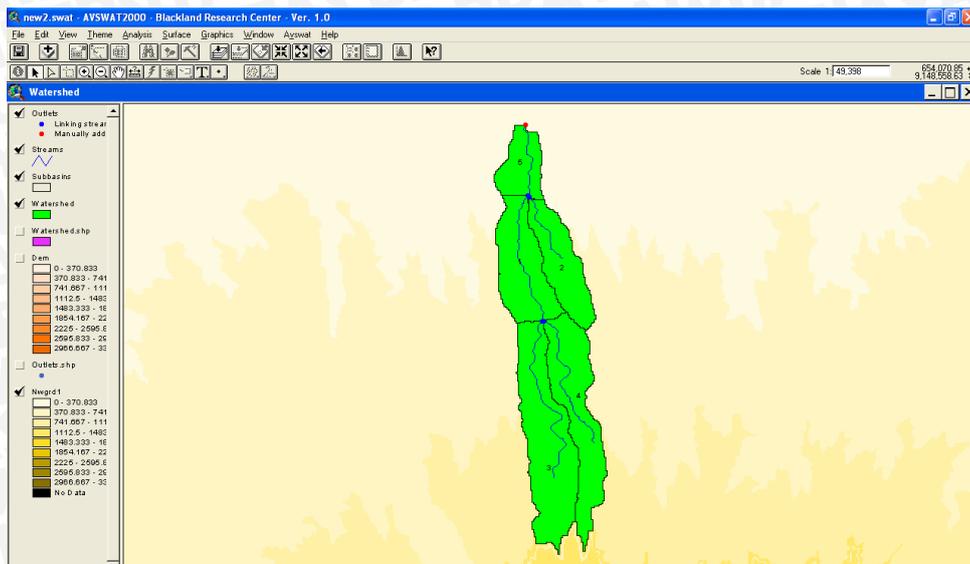
Gambar 4.3 Tampilan DEM dalam format *grid*

9. Deliniasi DAS atau biasa disebut penelusuran batas DAS dilakukan dengan bantuan *extensions AVSWAT 2000*. Pada tahapan ini, *theme grid* yang sudah diidentifikasi dimasukkan ke dalam *DEM setup*. Selanjutnya sungai.shp di *inputkan* dalam pembuatan *DEM*, sehingga dengan tombol *apply* dapat diperoleh *theme DEM* dan *theme Digitized Stream Network*.
10. Tahapan selanjutnya pada deliniasi DAS adalah mendefinisikan sungai dan *outlet* dalam *DEM*. Proses ini akan menghasilkan *theme stream* (sungai) dan *theme outlet* (outlet sub DAS), dengan menginputkan nilai *threshold area* (daerah yang akan didefinisikan sebagai sub DAS). Nilai *threshold area* ini coba-coba, hingga didapatkan sungai, anak sungai dan outlet sub DAS hamper sama dengan peta sungai dari BAKOSURTANAL. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan hasil sungai *digital* yang hamper sama dengan kondisi di lapangan.



Gambar 4.4 Tampilan hasil pendefinisian sungai dan outlet

11. Tahapan terakhir pada deliniasi DAS adalah mendefinisikan batas DAS dan batas Sub DAS dalam *DEM*. Pemilihan *outlet* DAS dengan tombol *select*, maka akan didapatkan *theme watershed* (batas DAS). Hal yang perlu diperhatikan adalah apabila terdapat *outlet* yang tidak terdapat pada *theme outlet*, maka perlu penambahan titik *outlet* dengan tombol *add* pada *toolbar watershed delination*. Namun bila terdapat *outlet* yang tidak diinginkan maka dapat dilakukan penghapusan titik *outlet* dengan tombol *remove* (hapus).



Gambar 4.5 Tampilan hasil pendefinisian batas DAS dan Sub DAS

12. Data spasial dan atribut yang didapatkan dalam semua proses pembangkitkan *DEM* dan deliniasi DAS dengan *extensions AVSWAT 2000*, akan digunakan pada tahapan analisa data spasial dan data atribut selanjutnya.
13. Tabel-tabel (atribut) hasil dari pembangkitan *DEM* dan deliniasi DAS dengan *extensions AVSWAT 2000*, perlu dipindahkan ke dalam *worksheet* program *excel* agar dapat diolah maupun diubah. Adapun proses yang perlu dilakukan sebagai berikut:
 - Aktifkan tabel yang ingin ditransfer dalam *ArcView 3.3*.
 - Pada *toolbar file* pilih *export*, kemudian pilih *format* yang diinginkan. Dalam hal ini *format exportnya* yaitu *dBASE*.
 - Simpan filenya dan beri nama *file*, maka file ini dapat dibuka pada program *excel* untuk diedit.
 - Selanjutnya proses *export* ini digunakan seterusnya pada kondisi yang sama.

4.2 Pengolahan Data Hujan

Pengaruh hujan terhadap kualitas air pada DAS dapat bersifat langsung dan tidak langsung. Pengaruh langsung adalah melalui tenaga kinetis air hujan, dan pengaruh tidak langsung ditentukan melalui pengaruhnya terhadap pertumbuhan vegetasi. Sedangkan parameter iklim yang dikumpulkan dalam studi ini menggunakan pengaruh iklim yang bersifat langsung yaitu hujan.

Data hujan dibutuhkan dalam program AVSWAT 2000 untuk memperoleh nilai presipitasi, evaporasi, transpirasi, aliran permukaan, aliran lateral, aliran sungai dan

sebagainya yang berhubungan dengan air dalam pemodelan siklus hidrologi. Data hujan juga dibutuhkan sebagai referensi awal pembangkitan data hujan yang digunakan dalam periode simulasi model.

Data hujan yang digunakan dalam studi ini adalah data hujan stasiun hujan yang terdekat dengan daerah studi. Stasiun hujan yang digunakan adalah stasiun hujan Cakarayam dengan jangka waktu 10 tahun yakni antara tahun 2001-2010.

Tabel 4.1 Lokasi Stasiun Hujan Cakarayam

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	CKRAYM	659343	9157459	121

4.2.1 Uji Konsistensi

Data hujan selama 10 tahun terlebih dahulu diuji kekonsistenan datanya dengan metode RAPS dan uji F seperti yang dijelaskan dalam bab kajian pustaka. Metode RAPS (*Rescale Adjusted Partial Sums*), merupakan pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri (uji homogenitas), yaitu pengujian kumulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar kumulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya (Buishand, 1982 dalam Harto, 1993: 59).

Perhitungan uji konsistensi dengan metode RAPS ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Uji konsistensi curah hujan stasiun Cakarayam

Tahun [1]	Tanggal [2]	Curah Hujan (mm) [3]	Sk* [4]	[SK*] [5]	Dy ² [6]	Sk** [7]	[SK**] [8]
2001	02-Feb	55	-9,7	9,7	9,409	-0,019	0,019
2002	24-Mar	47	-17,7	17,7	31,329	-0,035	0,035
2003	31-Jan	36	-28,7	28,7	82,369	-0,056	0,056
2004	05-Mar	60	-4,7	4,7	2,209	-0,009	0,009
2005	05-Feb	45	-19,7	19,7	38,809	-0,039	0,039
2006	05-Jan	105	40,3	40,3	162,409	0,079	0,079
2007	18-Jan	57	-7,7	7,7	5,929	-0,015	0,015
2008	26-Des	90	25,3	25,3	64,009	0,050	0,050
2009	10-Mar	97	32,3	32,3	104,329	0,063	0,063
2010	04-Mar	55	-9,7	9,7	9,409	-0,019	0,019
Rerata		64,7					
Jumlah					510,21		

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan uji konsistensi dengan uji F ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Data hujan bulanan stasiun cakarayam

Tahun	Bulan												Rerata	Tahunan
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des	Tahunan	Total (mm/thn)
2001	55	40	86	70	24	0	2	0	0	0	40	25	28,500	342
2002	115	105	50	50	0	0	0	0	0	0	23	67	34,167	410
2003	36	66	92	30	0	0	0	0	0	0	48	60	27,667	332
2004	68	70	60	8	30	9	0	0	0	0	0	41	23,833	286
2005	86	45	55	39	10	51	25	22	4	35	55	57	40,333	484
2006	105	46	93	32	46	0	0	0	0	0	0	60	31,833	382
2007	57	55	52	73	23	0	0	34	0	0	40	86	35,000	420
2008	82	79	98	46	55	0	0	0	10	72	23	90	46,250	555
2009	78	57	97	29	51	10	0	0	0	10	19	31	31,833	382
2010	86	45	55	39	10	51	25	22	4	35	55	57	40,333	484
Jumlah													339,750	
Max	115	105	98	73	55	51	25	34	10	72	55	90		555
Rerata Bulanan	76,8	60,8	73,8	41,6	24,9	12,1	5,2	7,8	1,8	15,2	30,3	57,4		
Min	36	40	50	8	0	0	0	0	0	0	0	25		286

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.4 Uji F rata-rata hujan tahunan

Tahun	Xj	$k*(Xj-X)^2$
2001	28,500	968765,625
2002	34,167	933811,736
2003	27,667	973960,069
2004	23,833	998033,403
2005	40,333	896503,403
2006	31,833	948126,736
2007	35,000	928725,625
2008	46,250	861422,500
2009	31,833	948126,736
2010	40,333	896503,403
Jumlah		9353979,236

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.5 Uji F rata-rata hujan bulanan

Bulan	Xi	n*(Xi-X) ²
Jan	76,8	829712,430
Feb	60,8	933757,230
Mar	73,8	848752,830
Apr	41,6	1066721,070
Mei	24,9	1189566,270
Jun	12,1	1288254,270
Jul	5,2	1343084,430
Ags	7,8	1322289,630
Sep	1,8	1370522,430
Okt	15,2	1263992,430
Nop	30,3	1149111,630
Des	57,4	956658,270
Jumlah		13562422,920

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.6 Uji F data hujan bulanan stasiun hujan Cakarayam

Tahun ke	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	83781,303	84361,203	104619,903	115362,123	96317,123	89490,723	94894,803	92081,903	95759,303	87645,603	103008,903	77757,323
2	118186,980	122348,380	79401,847	98585,534	78783,134	86132,467	90230,147	88674,914	92284,314	84322,480	88972,947	99340,534
3	73594,647	100668,714	109087,080	90290,234	82474,267	89990,000	94177,380	92588,347	96275,747	88139,714	108757,047	99025,600
4	94320,647	105700,847	91274,480	79702,700	103051,700	97854,267	96544,847	94935,880	98669,280	90430,514	81576,880	89710,234
5	95244,247	80438,414	78745,714	88100,134	80949,734	114458,167	101899,280	98355,414	90972,614	101899,280	105051,614	89410,967
6	112974,414	85917,380	107005,314	88992,834	108251,967	87507,500	91637,380	90070,014	93707,414	85683,047	77071,014	96420,600
7	81196,503	89371,103	80060,703	112996,823	91718,123	85644,023	89730,203	109527,903	91778,703	83839,203	98878,803	111122,223
8	89221,690	97156,890	100933,290	88744,410	104716,960	79185,960	83116,890	81624,490	91022,890	122710,090	81910,440	106341,210
9	95553,114	92486,947	109638,247	87211,934	111567,134	93523,834	91637,380	90070,014	93707,414	91637,380	87981,447	79251,634
10	95244,247	80438,414	78745,714	88100,134	80949,734	114458,167	101899,280	98355,414	90972,614	101899,280	105051,614	89410,967
Jumlah												11254290,967

Sumber: Hasil Perhitungan

Selanjutnya nilai F dihitung dengan rumus:

$$F1 = \frac{k-1 \sum_{i=1}^k n (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2}$$

$$F1 = \frac{10420120667}{10377039767} = 11,046$$

$$F2 = \frac{k-1 \sum_{j=1}^n k (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2}$$

$$F2 = \frac{8621197}{10377039767} = 7,477$$

Hipotesa 1:

H0 = data homogen secara bulanan

H1 = data non homogen secara bulanan

Hipotesa 2:

H0 = data homogen secara tahunan

H1 = data non homogen secara tahunan

Kesimpulan :

v1 = (k -1) = 11 dan v2 = (k-1).(n-1) = 99

untuk a = 1% maka F tabel = 2,461 2.461

F1 hitung > F1 tabel : hipotesa 1 H1 ditolak dan H0 diterima

v1 = (n -1) = 29 dan v2 = (k-1).(n-1) = 99

untuk a = 1% maka F tabel = 1.9345 1.9345

F2 hitung < F2 tabel : hipotesa 2 H1 ditolak H0 ditolak

4.2.2 Pengolahan Data Hujan untuk Input Data AVSWAT 2000

Input data hujan dalam AVSWAT 2000 digunakan untuk memperoleh nilai-nilai statistik presipitasi, standart deviasi dan kepengcengan, probabilitas, dan curah hujan maksimum.

Untuk maksud diatas, terlebih dahulu data hujan dikelompokkan dalam susunan bulanan selama jangka waktu 10 tahun seperti dijelaskan pada gambar 4.6 berikut ini:

DATA CURAH HUJAN HARIAN SUB DAS MANTING

Peta No :
Koordinat : XPR =, YPR =
Kecamatan :
Nama stasiun : Cakarayam
Elevasi : Bulan : Januari

Tanggal	2000	2001	2002	2003	
1	7	0	0	45	→
2	11	0	44	6	→
3	0	0	0	5	→
4	6	27	0	51	→

Gambar 4.6 Contoh pengelompokkan data hujan

Setelah pengelompokkan curah hujan harian menurut bulan selesai, dilakukan perhitungan-perhitungan statistik pada data hujan untuk mendapatkan:

1. Rata-rata presipitasi bulanan (PCPMM)
2. Standar deviasi presipitasi bulanan (PCPSTD)
3. Kepencengan presipitasi bulanan (PCPSKW)
4. Probabilitas hari hujan terhadap hari kering (PR_W1)
5. Probabilitas hari hujan terhadap hari hujan (PR_W2)
6. Rata-rata jumlah hari hujan bulanan (PCPD)
7. Hujan maksimum bulanan (RAINHMX)

Contoh format perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Contoh perhitungan susunan data hujan bulanan stasiun hujan cakarayam pada bulan Januari

Tanggal	Bulan Januari									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	0	52	3	0	0	37	0	18	0	0
2	0	4	27	0	0	24	0	25	0	0
3	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	38	0	61	0	0
5	45	34	0	0	86	0	0	0	28	86
6	0	0	10	19	10	0	0	11	0	10
7	15	6	12	0	0	23	0	0	37	0
8	13	0	0	5	0	15	0	44	0	0
9	17	0	0	0	0	21	0	0	8	0
10	15	6	0	0	0	0	0	0	0	0
11	55	3	0	42	0	16	0	0	18	0
12	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0
13	0	6	0	68	0	21	0	0	0	0
14	0	4	9	5	0	24	0	0	10	0
15	0	13	5	0	17	0	0	3	8	17
16	0	5	0	30	0	6	0	3	0	0
17	0	6	8	0	26	0	0	0	25	26
18	0	0	0	30	0	105	0	6	0	0
19	2	7	9	0	32	0	52	0	0	32
20	0	0	0	2	2	15	57	0	6	2
21	48	25	34	0	8	0	13	0	10	8
22	20	55	18	0	7	3	5	0	0	7
23	0	60	27	14	10	0	3	55	0	10
24	5	74	18	6	0	27	29	0	54	0
25	0	0	20	0	0	35	0	0	30	0
26	0	70	10	20	0	0	0	0	60	0
27	0	5	15	25	0	0	0	15	0	0
28	0	0	18	2	0	10	0	13	14	0
29	0	81	0	0	8	15	0	18	78	8
30	27	78	30	0	6	20	51	18	0	6
31	0	115	15	14	0	23	22	82	30	0
Total	262	709	324	314	212	478	232	372	416	212
Hari Hujan	11	21	19	15	11	19	8	14	15	11

Sumber: Hasil Perhitungan

$$1. \sum_{d=1}^N R_{day,mon} = 487 + 262 + 709 + \dots + 416$$

$$= 3806$$

$$2. Days_{wet, i} = 22 + 11 + 21 + 19 + \dots + 15$$

$$= 155$$

$$3. N = 31 + 31 + 31 + 31 + \dots + 31$$

$$= 310$$

$$4. yrs = 10$$

a. PCPMM

Rata-rata total presipitasi bulanan (mm), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{R}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,yrs}}{N} = \frac{3806}{10} = 380,60$$

b. PCPSTD

Standar deviasi presipitasi bulanan (mm), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{d=1}^N (R_{day,yrs} - \bar{R}_{mon})^2}{N - 1}\right)} = 20,32$$

c. PCPSKW

Kepencengan presipitasi bulanan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$g_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N (R_{day,yrs} - \bar{R}_{mon})^3}{(N - 1)(N - 2)(\sigma_{mon})^3} = 2,32$$

d. PR_W1

Probabilitas hari hujan mengikuti hari kering dalam bulan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$PR_{W1} = \frac{days_{w, \bar{d}, i}}{days_{dry, i}} = 0,29$$

e. PR_W2

Probabilitas hari hujan yang mengikuti hari basah dalam bulan, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$PR_{W2} = \frac{days_{w, w, i}}{days_{wet, i}} = 0,34$$

f. PCPD

Jumlah rata-rata hujan harian dalam bulan, parameter ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{d}_{wet, i} = \frac{days_{wet, i}}{yrs} = 15,50$$

g. RAINHMX

Hujan harian maksimum seluruh periode dalam bulan, nilai ini mewakili dari satu hari hujan maksimum dalam seluruh periode dalam bulan. Untuk contoh stasiun cakarayam curah hujan maksimum sebesar 115 mm pada bulan Januari.

Untuk data kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan angin tidak dimasukkan, dikarenakan ketersediaan data kurang lengkap. Namun demikian program AVSWAT 2000 mampu membangkitkan ketiga data tersebut mengacu pada data hujan.

Semua data tersebut dirangkum dalam bentuk tabel untuk input data dalam AVSWAT 2000. Input data hujan dapat dilakukan melalui dua cara, yakni melalui tampilan *edit file database* pada menu AVSWAT atau melalui *file database userwgn(*.wgn)*.

Tabel 4.8 Input pengolahan data hujan Stasiun Cakarayam

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nop	Des
PCPMM	353,10	360,80	313,60	137,80	63,00	21,00	9,00	7,80	3,10	20,10	116,80	270,10
PCPSTD	19,79	17,97	17,83	10,75	7,25	4,83	2,35	2,61	0,79	5,10	9,88	15,21
PCPSKW	2,42	1,90	2,67	3,18	4,63	8,69	9,23	10,81	9,09	11,00	3,07	2,43
PR_W1	0,28	0,23	0,26	0,15	0,07	0,03	0,01	0,00	0,02	0,03	0,12	0,22
PR_W2	0,33	0,38	0,33	0,30	0,22	0,15	0,20	0,00	0,14	0,15	0,33	0,37
PCPD	14,40	15,90	13,70	7,80	1,10	1,10	0,80	0,30	0,60	1,10	6,60	14,30
RAINHMIX	115,00	105,00	98,00	73,00	55,00	51,00	25,00	34,00	10,00	72,00	55,00	90,00

Sumber: Hasil Perhitungan

4.3 Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah

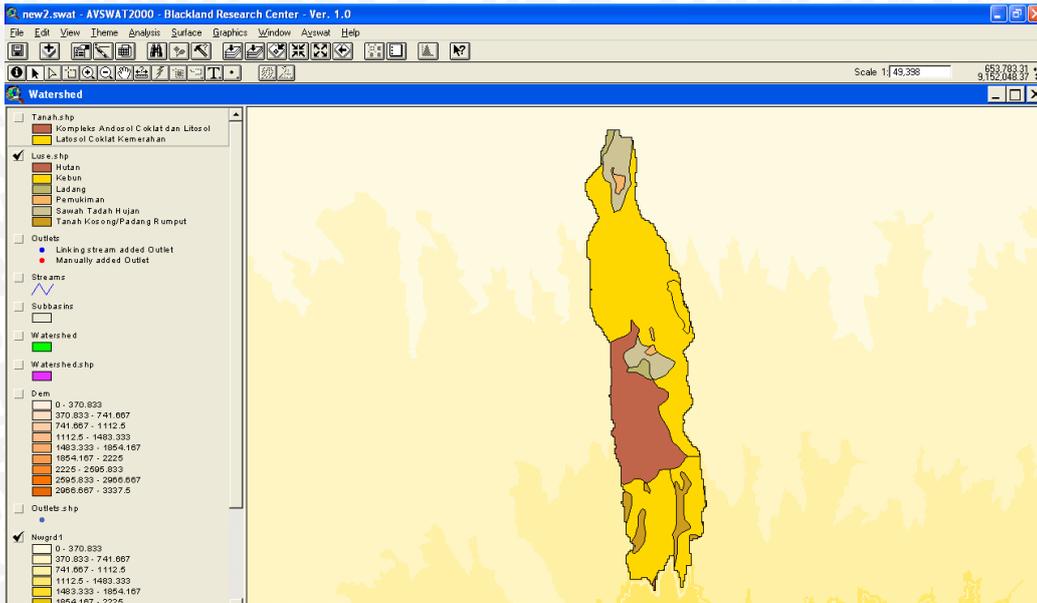
4.3.1 Kondisi Sebaran Tata Guna Lahan

Kondisi sebaran tataguna lahan di wilayah Sub DAS Manting disajikan dalam tabel dan gambar berikut ini:

Tabel 4.9 Sebaran Tataguna Lahan Daerah Studi

No	Tataguna Lahan	Luas		
		Ha	Km ²	% Luas
1	Pemukiman	7,327	0,073	7,34
2	Sawah Tadah Hujan	59,753	0,598	65,79
3	Kebun	533,774	5,338	1,28
4	Hutan	167,453	1,675	20,65
5	Ladang	10,729	0,107	0,89
6	Padang Rumput	33,591	0,336	4,05
	Total	812,627	8,126	100

Sumber: Analisa spasial AVSWAT 2000



Gambar 4.7 Sebaran Tataguna Lahan Sub DAS Manting

Dalam pembuatan/penggambaran peta tata guna lahan (*land use*) tersebut, peta disajikan dengan atribut simbol-simbol berupa angka 1,2,3,... . Sehingga dibutuhkan identifikasi tabel kode/ *look up table* dalam format file (*.dbf). Format tabel disusun seperti format yang diminta program agar program dapat berjalan dengan sempurna. Gambar peta tataguna lahan dapat dilihat pada lampiran 2.

4.3.2 Kondisi Sebaran Jenis Tanah

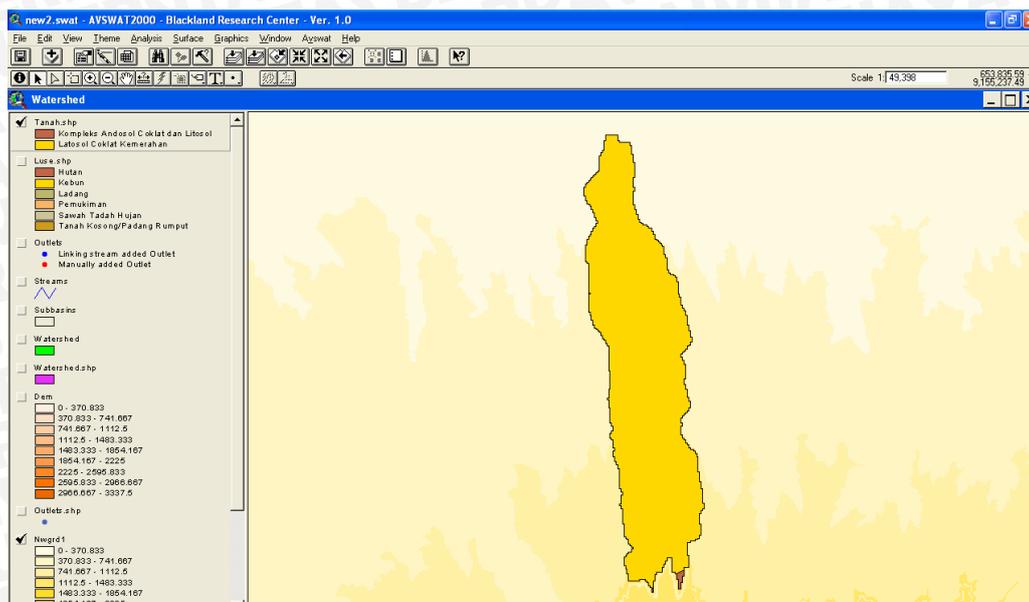
Kondisi sebaran jenis tanah di wilayah Sub DAS Manting disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.10 Sebaran Jenis Tanah Daerah Studi

No	Jenis Tanah	Luas		
		Ha	Km ²	% Luas
1	Latosol Coklat Kemerahan	2,439	0,024	0,3
2	Kompleks Andosol Coklat dan Litosol	810,186	8,102	99,7
	Total	812,625	8,126	100

Sumber: Analisa spasial AVSWAT 2000

Gambar peta sebaran jenis tanah dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.8 Sebaran Jenis Tanah Sub DAS Manting

4.3.3 Pengolahan Tata Guna Lahan dan Jenis Tanah

Program pemodelan siklus hidrologi seperti AVSWAT 2000 membutuhkan informasi mengenai data-data penutup lahan dan jenis tanah untuk mengenal unit lahan yang berparameter hidrologi yang akan dimodelkan. Dalam hal ini AVSWAT 2000 mempunyai *tools* yang disebut *landuse and soil definition*.

Peta tata guna lahan dan peta tanah akan *dioverlay* untuk menentukan unit lahan apa saja yang terkandung dalam suatu sub DAS. Peta tata guna lahan dan peta jenis tanah harus memiliki proyeksi gambar peta yang sama dengan peta DEM, karena jika tidak program tidak akan mengenalinya. Format peta bisa dalam bentuk *shape* atau *grid*. Jika format peta dalam bentuk *shape* maka program akan secara otomatis mengkonversi ke dalam bentuk *grid*.

Pembuatan data dalam file (*.dbf) juga diperlukan sebagai tambahan untuk mendeskripsikan penutup lahan dan jenis tanah. Format tabel disusun seperti format yang diminta agar program dapat berjalan dengan sempurna.

Tabel 4.11 Contoh data (*.dbf) peta tata guna lahan

VALUE	LANDUSE
1	PMKN
2	SWTH
3	KEBN
4	HUTN
5	LDNG
6	PGRT

Sumber: Pengolahan Data

Keterangan:

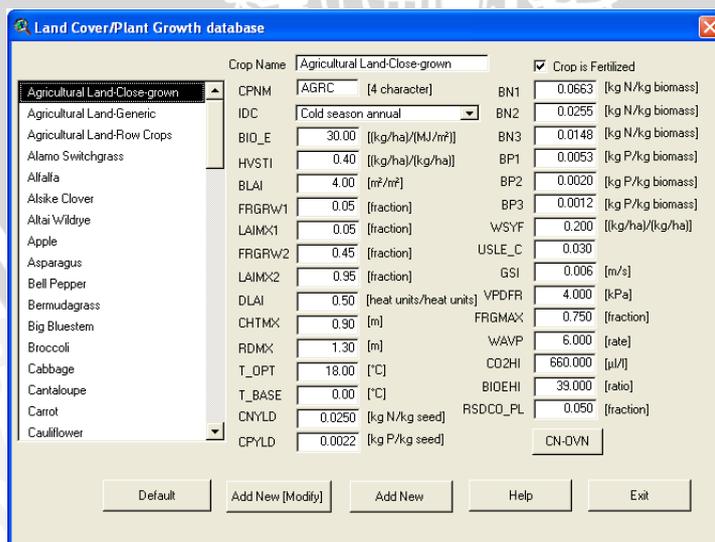
- PMKN = Pemukiman LDNG = Ladang
 SWTH = Sawah Tadah Hujan PGRT = Padang Rumput
 KEBN = Kebun HUTN = Hutan

Tabel 4.12 Contod data (*.dbf) peta jenis tanah

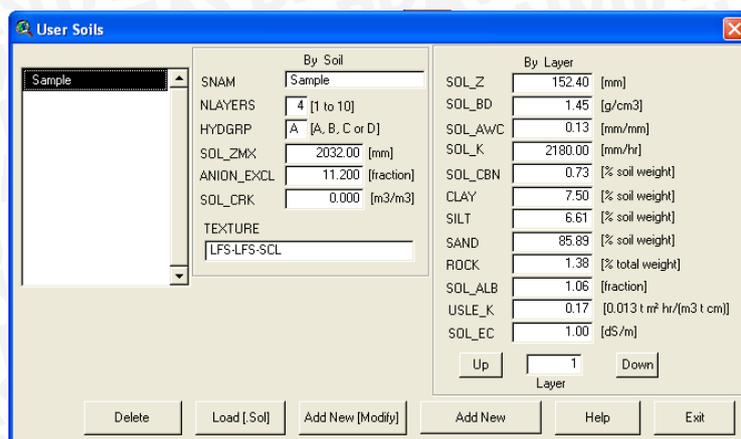
VALUE	NAME
1	Kompleks Andosol Coklat dan Litosol
2	Latosol Coklat Kemerahan

Sumber: Pengolahan Data

Pembuatan database juga dibutuhkan agar program dapat mengenali data-data yang dibuat secara manual. Data tataguna lahan dapat dimasukkan lewat *land cover/plant growth database* atau kedalam *file avswat -crop-*, dan data tanah dimasukkan lewat *usersoils database*.



Gambar 4.9 Land cover/plant growth database



Gambar 4.10 Usersoils database

Tekstur tanah ditentukan berdasarkan jenis tanahnya. Sedangkan nilai-nilai K dan tingkat erodibilitas diperkirakan dengan melihat peta serta merujuk pada tabel-tabel yang tercantum pada referensi.

Tabel 4.13 Data Jenis Tanah Sub DAS Manting dan Nilai K

No	Jenis Tanah	K
1	Kompleks Andosol Coklat dan Litosol	0.090
2	Latosol Coklat Kemerahan	0.260

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan peta dan berbagai referensi, kondisi lahan eksisting di Sub DAS Manting dapat ditentukan dan ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.14 Data Tata Guna Lahan Eksisting Sub DAS Manting

No	Tataguna Lahan	C	P
1	Pemukiman	0,3	0,2
2	Sawah Tadah Hujan	0,001	0,1
3	Kebun	0,2	0,1
4	Hutan	0,001	0,3
5	Ladang	0,5	0,1
6	Padang Rumput	0,2	0,3

Sumber: BPDAS Brantas Malang

4.3.4 Penentuan Klasifikasi Tanah dan *Curve Number* (CN)

Nilai *Curve Number* atau bilangan kurva air limpasan ditentukan berdasarkan dua parameter fisik dari Sub DAS, yaitu kondisi jenis tanah dan jenis penutup lahan. Dari kondisi jenis tanah akan didapatkan klasifikasi kelompok tanah menurut SCS (*Hydrology Soil Group*) seperti yang telah dijelaskan pada bab 2 sebelumnya.

Kemudian nilai CN dicari menurut kelompok tanah pada keadaan kelembaban awal II sesuai dengan jenis penutup lahannya. Nilai CN pada keadaan kelembaban awal II untuk kelompok tanah untuk masing-masing jenis penutup lahan dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.15 Nilai CN II C untuk masing-masing penutup lahan

No	Tataguna Lahan	Nilai CN 2			
		A	B	C	D
1.	Pemukiman	49	69	79	84
2.	Sawah Tadah Hujan	58	69	77	80
3.	Kebun	43	65	76	82
4.	Hutan	36	60	73	79
5.	Ladang	59	74	82	86
6.	Padang Rumput	39	61	74	80

Sumber:

- (1) Peta tataguna lahan Sub DAS Manting
- (2) Nilai SCS Curve Number kondisi kelembaban awal II, dari table crop dan table urban AVSWAT 2000, table 2.1, 2.2, 2.3.

4.3.5 Angka Kekasaran Manning di Lahan dan Sungai

Koefisien kekasaran lahan dan sungai adalah salah satu parameter yang berpengaruh dalam perhitungan debit puncak limpasan yang terjadi pada fenomena limpasan permukaan yang terjadi dalam suatu kawasan DAS. Angka kekasaran *manning* di lahan merupakan masukan data untuk perhitungan waktu konsentrasi yang terjadi di lahan melalui database *crop.dbf*. Sedangkan angka kekasaran manning di sungai akan digunakan sebagai masukan data untuk perhitungan waktu konsentrasi aliran di sungai. Angka kekasaran manning di anak sungai dimasukkan melalui menu *interface* “*Write Subbasin General Data (*.sub)*” pada *toolbar* input, sedangkan angka kekasaran manning di sungai utama dimasukkan melalui menu “*Write Main ChannelData (*.rte)*”. Hasil penentuan angka kekasaran manning tersebut dapat dilihat pada table 4.16 dan 4.17.

Tabel 4.16 Angka Kekasaran Manning untuk aliran di sungai

No.	Jenis Sungai	Tipe Saluran	Angka Kekasaran Manning
1.	Anak Sungai	Saluran Alam: sedikit vegetasi, dasar saluran berkerikil dan berbatu atau ada tumbuhan bawah.	0,05
2.	Sungai Utama	Saluran alam: sedikit vegetasi, dasar saluran berkerikil dan berbatu.	0,025

Sumber: Angka kekasaran *manning* untuk aliran di saluran (Chow, 1959)

Tabel 4.17 Angka Kekasaran Manning untuk aliran di lahan

No.	Penutup Lahan	Angka Kekasaran Manning
1.	Padang Rumput	0,15
2.	Semak	0,15
3.	Hutan	0,15
4.	Sawah Tadah Hujan	0,10
5.	Tanah Ladang	0,15
6.	Kebun	0,15
7.	Pemukiman	0,10
8.	Sawah Irigasi	0,10

Sumber: Anonim 2000:105

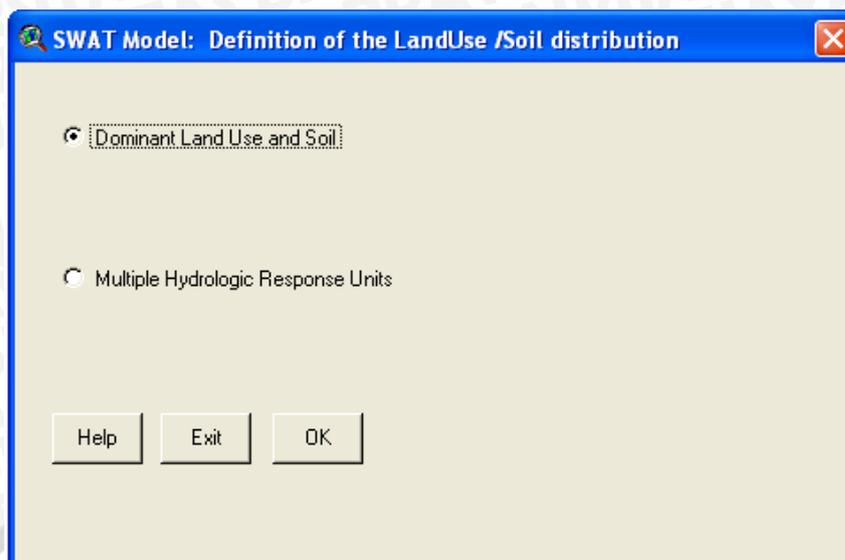
4.3.6 Pengolahan HRU (*Hydrologic Response Unit*)

HRU adalah unit satuan lahan yang mendeskripsikan peta penutup lahan atau jenis tanah yang ada pada suatu sub DAS. Didalam program AVSWAT 2000, terdapat suatu *tool* yaitu *HRU distribution* yang berfungsi untuk menjelaskan luasan distribusi penutup lahan atau jenis tanah apa saja yang ada dalam suatu sub DAS yang akan dimodelkan. Terdapat dua pilihan dalam tool ini, yang pertama adalah *dominant land use and soil* dan pilihan kedua adalah *multiple hydrologic response unit*.

Pilihan pertama, *dominant land use and soil*, program akan mengenali HRU yang dominan yang ada dalam suatu sub DAS. Contoh, apabila suatu sub DAS mengandung:

- Sawah Tadah Hujan 65,79%
- Komplek Andosol Coklat dan Litosol 99,7%
- Hutan 20,65%
- Latosol Coklat 0,3%

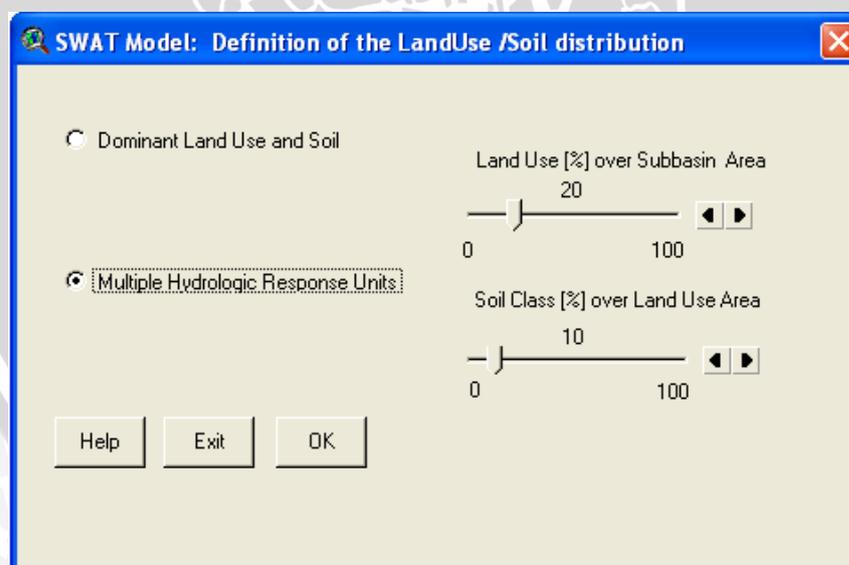
Program akan mengambil areal penutup lahan/tataguna lahan yang paling dominan saja yang akan dimodelkan, yakni jenis penutup lahan Sawah Tadah Hujan (65,79%) dan jenis tanah Komplek Andosol Coklat dan Litosol (99,7%).



Gambar 4.11 HRU distribution (dominant)

Pilihan kedua *multiple hydrologic response unit*, program akan mengenali semua HRU yang ada pada suatu sub DAS tergantung pada prosentase cakupan luasan yang diberikan. Terdapat dua prosentase cakupan luasan yang ditawarkan program, yaitu: *land use (%) over sub basin area and soil class (%) over land use area*.

Studi ini menggunakan pilihan yang kedua yaitu *multiple hydrologic response unit* dengan prosentase *land use (%) over sub basin area* sebesar 0% dan *soil class (%) over land use area* sebesar 0%.



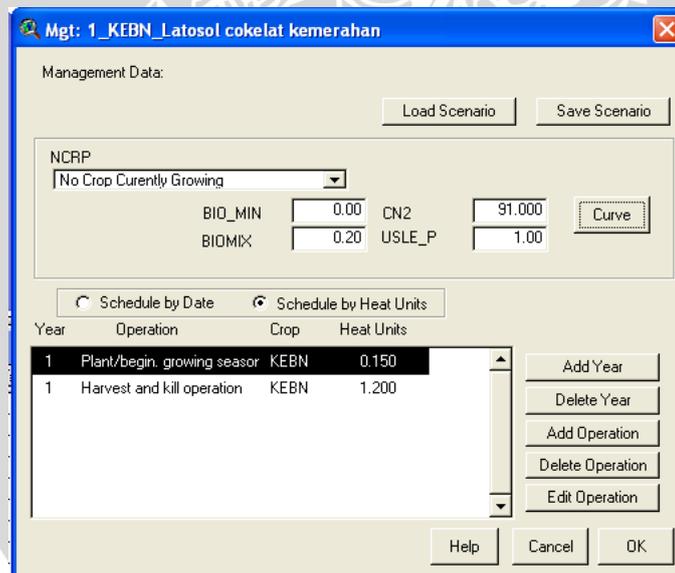
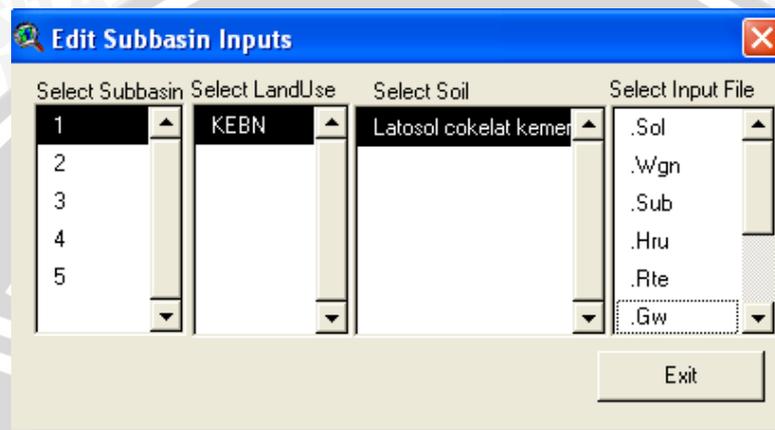
Gambar 4.12 HRU Distribution (multiple)

Program ini akan menghitung seluruh areal tataguna lahan dan jenis tanah dari keseluruhan peta tataguna lahan dan peta jenis tanah.

4.3.7 Menejemen Sub DAS

Program AVSWAT 2000 memberikan kemudahan kepada penggunanya untuk memasukkan informasi mengenai proses-proses fisik yang terjadi pada sub DAS melalui data menejemen lahan. Dari sini program akan mengetahui apakah suatu aliran air dipakai untuk kepentingan irigasi atau tidak, detail pola tanam suatu lahan pertanian dan waktu pemberian pupuk.

Semua data pertanian ini dimasukkan ke dalam *database AVSWAT* dalam file (*.mgt) atau dapat pula dimasukkan lewat menu *edit input – subbasin data*.

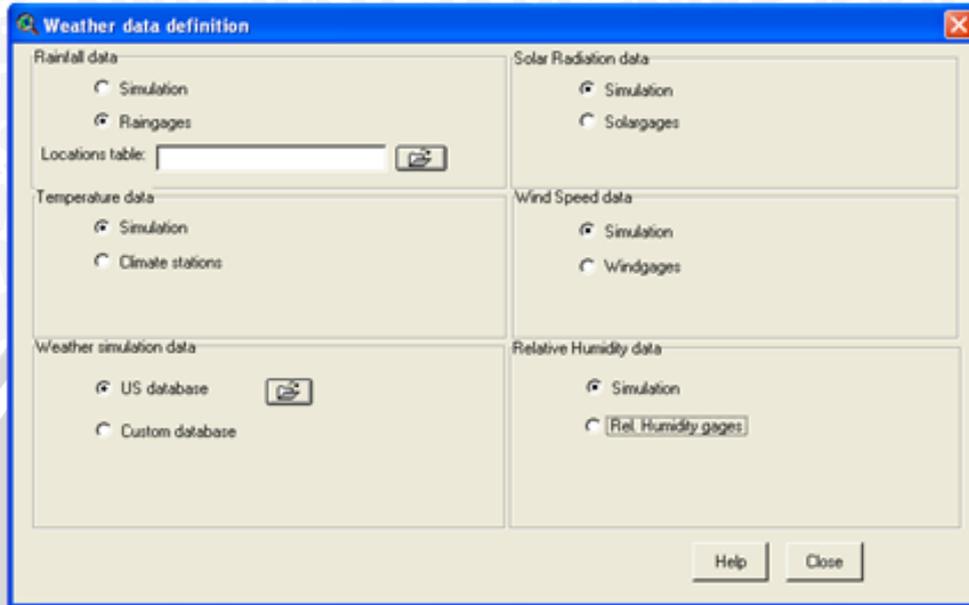


Gambar 4.13 Tampilan *Management Data* (mgt)

4.3.8 Pengolahan Data Stasiun Cuaca (*Weather Station*)

Program AVSWAT 2000 membutuhkan informasi tentang hujan harian, temperature udara, kecepatan angin, dan radiasi sinar matahari yang terdapat pada setiap stasiun cuaca. Data-data ini dimasukkan melalui input sub menu *weather station* pada tampilan *SWAT View*.

Data hujan harian dimasukkan lewat perintah *raingages*, data temperature udara lewat perintah *climate stations*, data simulasi lewat *weather simulation*. Untuk data kelembaban relatif, radiasi sinar matahari dan kecepatan angin tidak dimasukkan dikarenakan ketersediaan data kurang lengkap. Namun demikian program AVSWAT 2000 mampu membangkitkan ketiga data tersebut mengacu pada data hujan yang ada.



Gambar 4.14 Input Weather Station

Data-data yang dimasukkan disusun menurut format yang diminta program dalam file (*.dbf).

Table 4.18 Contoh format data lokasi stasiun hujan harian

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	CKRAYM	659343	9157459	121

Tabel 4.19 Contoh format data hujan harian stasiun cakarayam

DATE	PCP
01/01/2001	0
02/01/2001	0
03/01/2001	0
04/01/2001	0
05/01/2001	45
06/01/2001	0
07/01/2001	15
08/01/2001	13
09/01/2001	17
10/01/2001	15

Tabel 4.20 Contoh format data lokasi stasiun temperatur harian

ID	NAME	XPR	YPR	ELEVATION
1	TEMKRPLS	676443	9126479	575

Table 4.21 Contoh format data temperatur harian stasiun karangploso

DATE	MAX	MIN
01/01/2001	28	23
01/02/2001	27	22
01/03/2001	26	22
01/04/2001	27	22
01/05/2001	27	22
01/06/2001	28	24
01/07/2001	27	23
01/08/2001	29	23
01/09/2001	28	23
01/10/2001	28	23

Table 4.22 Contoh format data lokasi stasiun cuaca untuk simulasi

ID	NAME	XPR	YPR
1	CKRAYM	659343	9157459

4.3.9 Running Simulation

Simulasi dilakukan pada tiap periode per tahun, dimana pada kajian ini Sub DAS Manting dibagi menjadi 5 subbasin dengan menggunakan metode Pennman. Simulasi ini dimaksudkan untuk keperluan kalibrasi data debit model dan data debit hasil pengukuran lapangan.

Setelah semua data-data masukan selesai dimasukkan, langkah selanjutnya adalah mencoba simulasi model dengan perintah *RunSWAT* pada *menu simulation* dalam tampilan *SWATview*.

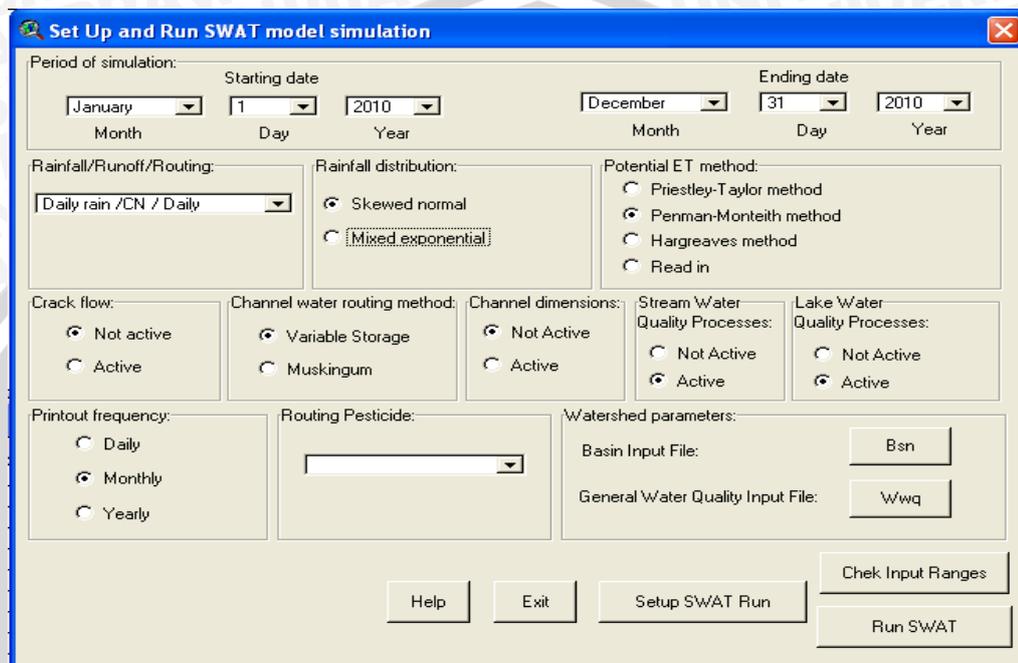
Set Up and Run SWAT model simulation:

1. *Period of simulation* : 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010
2. *Rainfall/Runoff/Routing* : *Daily rain/CN/Daily*
3. *Rainfall distribution* : *Skewed normal*
4. *Potensial ET method* : *Penman – Monteith method*
5. *Crack flow* : *Not Active*
6. *Channel water routing method* : *Active*
7. *Channel dimension* : *Not Active*
8. *Stream water quality processes* : *Active*
9. *Lake water quality processes* : *Active*

10. Printout frequency : monthly

11. Routing Pesticide : -

Untuk periode simulasi 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010 ini disesuaikan dengan data hujan yang tersedia selama 1 tahun, hal ini dimaksudkan untuk keperluan kalibrasi dengan data debit simulasi AVSWAT 2000 dan data debit pengamatan di lapangan.



Gambar 4.15 Set Up Running SWAT Periode 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010

4.4 Output AVSWAT 2000

Terdapat 3 file utama untuk output running simulation AVSWAT 2000 yang masing-masing mempunyai penjelasan yang berbeda-beda. File-file itu adalah:

1. HRU output file (*.SBS)

File ini berisi tentang informasi setiap unit HRU di dalam Sub DAS

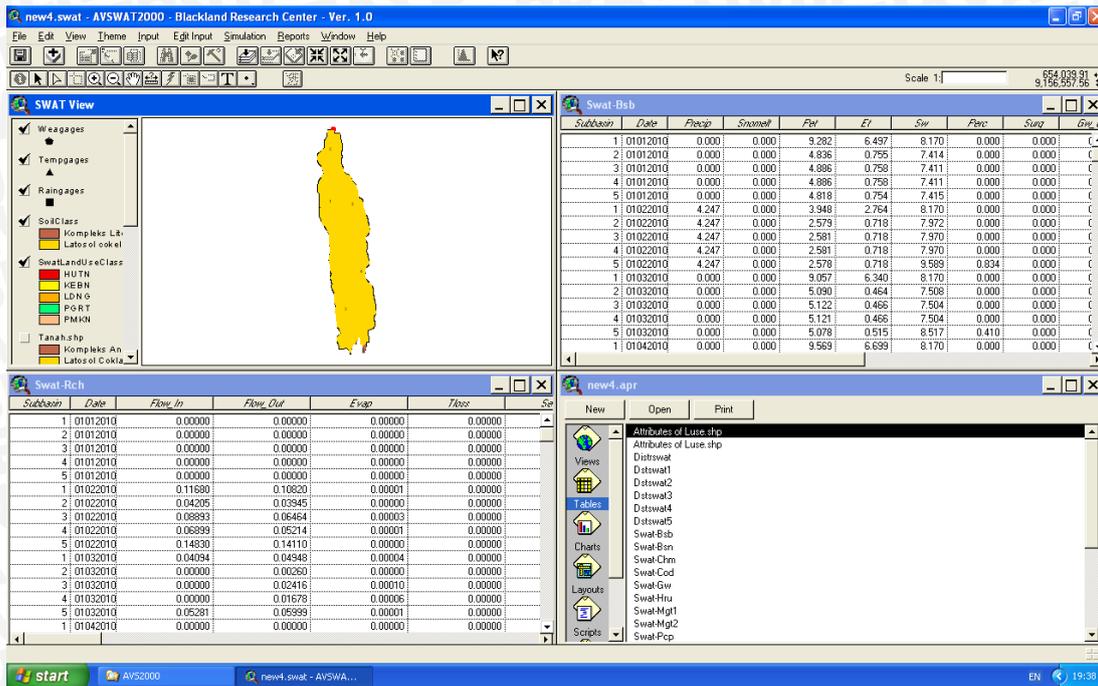
2. Subbasin output file (*.BSB)

File ini berisi tentang informasi yang ada pada masing-masing Sub DAS dan ringkasan pada HRU pada setiap Sub DAS

3. Main channel output file (*.RCH)

File ini berisikan ringkasan informasi penelusuran sungai dalam DAS

Berikut ini adalah contoh-contoh tampilan output file AVSWAT 2000.



Gambar 4.16 Output AVSWAT 2000

4.5 Teknik Kalibrasi

4.5.1 Kalibrasi Aliran atau Debit Model Avswat 2000

Teknik kalibrasi dalam model AVSWAT 2000 difokuskan pada kalibrasi aliran yaitu perbandingan antara hasil model AVSWAT 2000 dengan pengukuran di lapangan. Contoh hasil simulasi periode 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010 yaitu sebagai berikut:

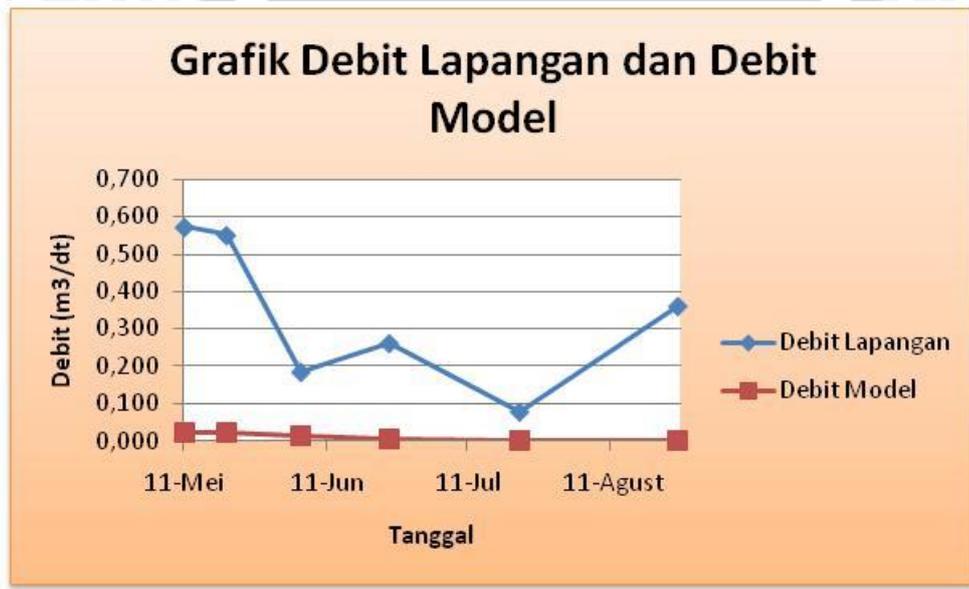
Untuk mengetahui keakuratan dari hasil pemodelan maka debit hasil pemodelan dibandingkan dengan data debit hasil pengamatan. Apabila kesalahan relatif data debit hasil keluaran model dengan data debit pengamatan tidak melebihi dari 20 %, maka hasil keluaran model dianggap mendekati kondisi sebenarnya dilapangan dan bisa diterima.

$$\begin{aligned}
 KR &= \left(\frac{Q_{\text{lapangan}} - Q_{\text{model}}}{Q_{\text{lapangan}}} \right) \times 100 \\
 &= \frac{0,572 - 0,024}{0,572} \times 100 \\
 &= 95,738\%
 \end{aligned}$$

Table 4.23 Hasil simulasi debit AVSWAT 2000 sebelum kalibrasi

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m^3/dt		%
11-Mei	0,572	0,024	95,738
20-Mei	0,550	0,024	95,694
05-Jun	0,183	0,015	91,531
24-Jun	0,260	0,005	98,016
22-Jul	0,076	0,002	97,303
25-Agust	0,360	0,001	99,794
Rata-rata	0,333	0,012	96,346

Sumber: Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik Debit Terhadap Data Terukur

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa kesalahan relatif (KR) terhadap debit terukur adalah 96,346%. Untuk menangani masalah ini maka langkah-langkah kalibrasi yang dilakukan sesuai yang dianjurkan dalam buku petunjuk AVSWAT adalah:

Hydrologic Calibration

Simulated flow over predicts peak flows but under predicts all other times

- ✦ Too little base flow
- ✦ Too high surface runoff

Solutions

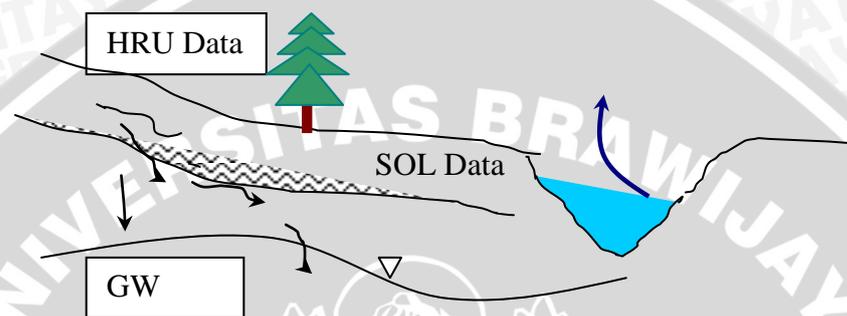
- ✦ Adjust surface runoff until reasonable by lowering CN, increasing SOL_AWC and adjusting ESCO
- ✦ Adjust base flow until reasonable with GW parameters
- ✦ Iterate between surface runoff and base flow until both look reasonable

SWAT

A. Langkah I:

1. Menambah atau mengurangi bilangan kurva (*curve number*) dalam file (*.mgt)
2. Menambah atau mengurangi AWC (*available water capacity*) dalam file (*.sol)
3. Menambah atau mengurangi faktor kompensasi evaporasi dalam file (*.hru)

Apabila belum mendapatkan hasil yang memuaskan maka hal yang perlu diperhatikan adalah faktor-faktor air tanah yang tersimpan di data dalam file (*.gw)



Gambar 4.18 Posisi dari Parameter HRU Data, GW Data, dan Sol Data

B. Langkah II:

1. Menambah atau mengurangi koefisien resap air tanah (GW_REVAP). Nilai maksimum 0,20 dan nilai minimum 0,02.
2. Menambah atau mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya evaporasi (REVAPMN).
3. Menambah atau mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya aliran dasar (GWQMIN). Nilai minimum 0,00.

C. Langkah III:

Mengulang langkah I dan II terus menerus.

4.5.2 Input Nilai Kalibrasi Parameter

Kalibrasi parameter dalam model dilakukan dengan cara coba-coba. Proses kalibrasi membutuhkan ketelitian dan ketepatan dalam mengevaluasi setiap perubahan hasil dari setiap perubahan nilai setiap parameter. Hal ini penting dilakukan untuk mengetahui apakah parameter yang diubah tersebut memberi pengaruh terhadap hasil model yang akan dikontrol.

Dalam kalibrasi ini, peneliti menggunakan nilai-nilai *default* (nilai data base pemodelan) yang ada pada model AVSWAT 2000 (Periode 1 Januari 2010 – 31 Desember 2010). Nilai-nilai *default* yang dimaksud adalah seperti angka parameter lahan hru, gw, dan mgt. Hal ini berlandaskan alasan bahwa ketersediaan data dilapangan yang sangat

minim untuk beberapa parameter-parameter tersebut, sehingga nilai-nilai parameter tersebut didekati/diisi terlebih dahulu dengan nilai-nilai yang dimiliki oleh AVSWAT 2000.

Skenario yang ditampilkan adalah sebagai berikut:

1. Merubah nilai CN (*mgt.dbf*)
2. Merubah nilai ESCO (*hru.dbf*)
3. Merubah nilai LAT_TIME (*hru.dbf*)

4.5.2.1 Skenario I

Skenario I adalah melakukan simulasi dengan merubah nilai CN yang berpengaruh terhadap besar nilai dari *surface runoff*.

Perlakuan A:

Tataguna Lahan	CN
Kebun	76
Padang Rumput	74
Pemukiman	79
Hutan	73
Sawah Tadah Hujan	77
Ladang	82

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.24 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,024	95,738
20-Mei	0,550	0,024	95,694
05-Jun	0,183	0,015	91,531
24-Jun	0,260	0,005	98,016
22-Jul	0,076	0,002	97,303
25-Agust	0,360	0,001	99,794

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan B:

Tataguna Lahan	CN
Kebun	61,88
Padang Rumput	40
Pemukiman	65,45
Hutan	58,41
Sawah Tadah Hujan	63,06
Ladang	69,14

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.25 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,030	94,706
20-Mei	0,550	0,029	94,785
05-Jun	0,183	0,019	89,595
24-Jun	0,260	0,007	97,386
22-Jul	0,076	0,002	96,909
25-Agust	0,360	0,001	99,761

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan C:

Tataguna Lahan	CN
Kebun	82
Padang Rumput	86
Pemukiman	83
Hutan	77
Sawah Tadah Hujan	82
Ladang	84

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.26 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,021	96,300
20-Mei	0,550	0,020	96,276
05-Jun	0,183	0,014	92,494
24-Jun	0,260	0,004	98,301
22-Jul	0,076	0,002	97,619
25-Agust	0,360	0,001	99,817

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan D:

Tataguna Lahan	CN
Kebun	69,14
Padang Rumput	74,33
Pemukiman	70,41
Hutan	63,06
Sawah Tadah Hujan	69,14
Ladang	71,69

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.27 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,028	95,040
20-Mei	0,550	0,028	95,002
05-Jun	0,183	0,018	90,169
24-Jun	0,260	0,006	97,532
22-Jul	0,076	0,002	97,027
25-Agust	0,360	0,001	99,769

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan E:

Tataguna Lahan	CN
Kebun	72
Padang Rumput	79
Pemukiman	77
Hutan	70
Sawah Tadah Hujan	81
Ladang	78

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.28 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,025	95,584
20-Mei	0,550	0,025	95,538
05-Jun	0,183	0,016	91,023
24-Jun	0,260	0,005	97,901
22-Jul	0,076	0,002	97,159
25-Agust	0,360	0,001	99,786

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan F:

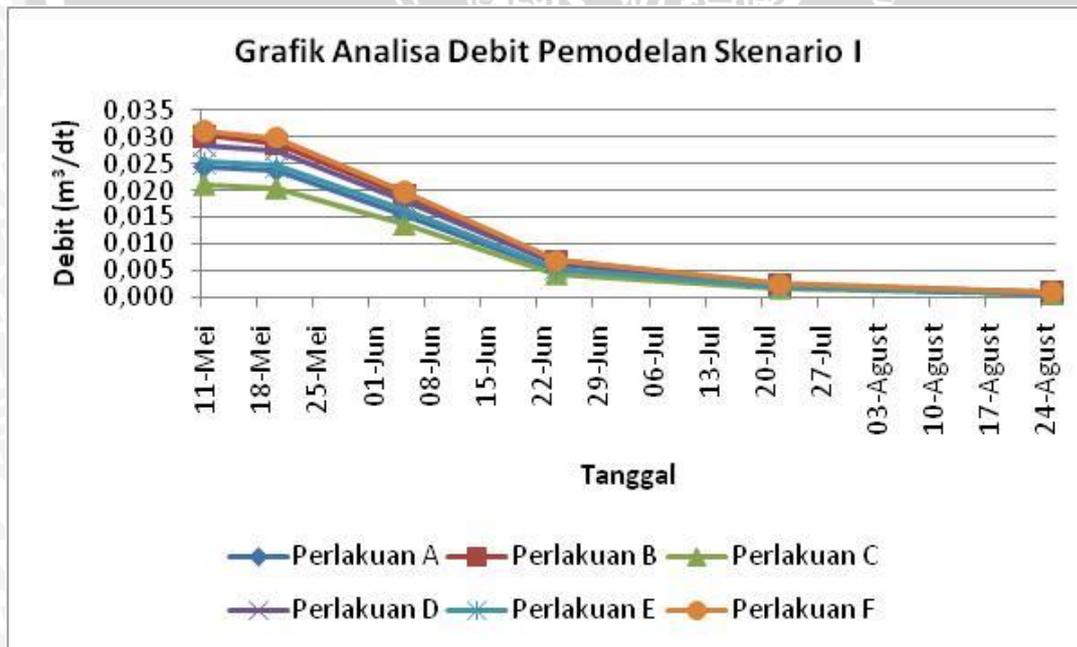
Tataguna Lahan	CN
Kebun	57,26
Padang Rumput	65,45
Pemukiman	62,16
Hutan	50,65
Sawah Tadah Hujan	68,33
Ladang	64,25

Menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.29 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,031	94,553
20-Mei	0,550	0,030	94,562
05-Jun	0,183	0,020	89,272
24-Jun	0,260	0,007	97,386
22-Jul	0,076	0,002	96,817
25-Agust	0,360	0,001	99,753

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT



Gambar 4.19 Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D, E, dan F pada Skenario I

4.5.2.2 Skenario II

Skenario II adalah melakukan simulasi dengan merubah faktor parameter hru yaitu nilai ESCO (*Soil Evapotranspiration Factor*).

Perlakuan A:

Nilai ESCO = 0 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.30 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,281	50,900
20-Mei	0,550	0,281	48,879
05-Jun	0,183	0,258	29,159
24-Jun	0,260	0,232	10,743
22-Jul	0,076	0,199	61,827
25-Agust	0,360	0,166	53,807

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan B:

Nilai ESCO = 0,25 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.31 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,267	53,343
20-Mei	0,550	0,266	51,651
05-Jun	0,183	0,244	25,002
24-Jun	0,260	0,219	15,756
22-Jul	0,076	0,188	59,539
25-Agust	0,360	0,157	56,405

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan C:

Nilai ESCO = 0,5 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.32 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,269	52,923
20-Mei	0,550	0,268	51,220
05-Jun	0,183	0,246	25,679
24-Jun	0,260	0,221	14,984
22-Jul	0,076	0,190	59,906
25-Agust	0,360	0,158	56,007

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan D:

Nilai ESCO = 0,75 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.33 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,274	52,159
20-Mei	0,550	0,273	50,388
05-Jun	0,183	0,250	26,939
24-Jun	0,260	0,225	13,504
22-Jul	0,076	0,193	60,596
25-Agust	0,360	0,161	55,240

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

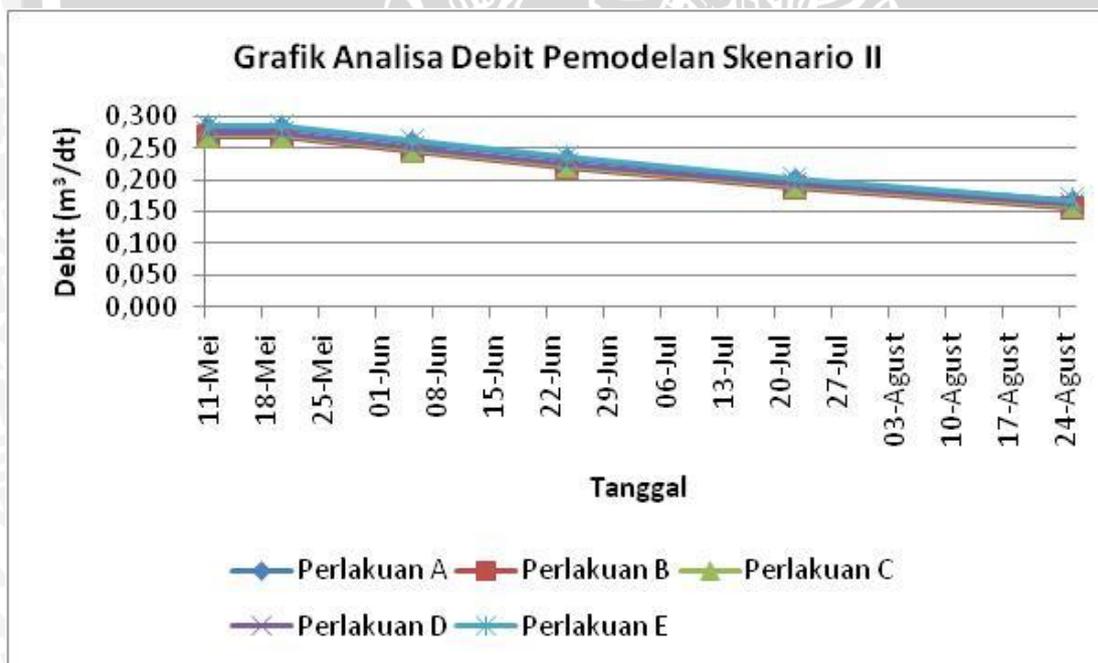
Perlakuan E:

Nilai ESCO = 1 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.34 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,284	50,339
20-Mei	0,550	0,285	48,185
05-Jun	0,183	0,262	30,133
24-Jun	0,260	0,235	9,479
22-Jul	0,076	0,202	62,365
25-Agust	0,360	0,169	53,143

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT



Gambar 4.20 Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D dan E pada Skenario II

4.5.2.3 Skenario III

Skenario III adalah melakukan simulasi dengan merubah factor parameter hru yaitu nilai LAT_TIME dan factor parameter gw yaitu nilai GW_DELAY.

Perlakuan A:

Nilai LAT_TIME = 30, ESCO = 1, dan GW_DELAY = 30 untuk semua tataguna

lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.35 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,415	27,417
20-Mei	0,550	0,388	29,556
05-Jun	0,183	0,228	19,839
24-Jun	0,260	0,121	53,623
22-Jul	0,076	0,052	31,994
25-Agust	0,360	0,021	94,140

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan B:

Nilai LAT_TIME = 60, ESCO = 1, dan GW_DELAY = 60 untuk semua tataguna

lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.36 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,440	23,100
20-Mei	0,550	0,422	23,334
05-Jun	0,183	0,325	43,673
24-Jun	0,260	0,235	9,606
22-Jul	0,076	0,149	48,917
25-Agust	0,360	0,088	75,611

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan C:

Nilai LAT_TIME = 90, ESCO = 1, dan GW_DELAY = 90 untuk semua tataguna

lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.37 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,402	29,763
20-Mei	0,550	0,393	28,602
05-Jun	0,183	0,330	44,593
24-Jun	0,260	0,267	2,443
22-Jul	0,076	0,196	61,205
25-Agust	0,360	0,136	62,084

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

Perlakuan D:

Nilai LAT_TIME = 120, ESCO = 1, dan GW_DELAY = 120 untuk semua tataguna

lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.38 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,357	37,620
20-Mei	0,550	0,353	35,796
05-Jun	0,183	0,310	41,056
24-Jun	0,260	0,265	1,765
22-Jul	0,076	0,210	63,861
25-Agust	0,360	0,160	55,585

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT

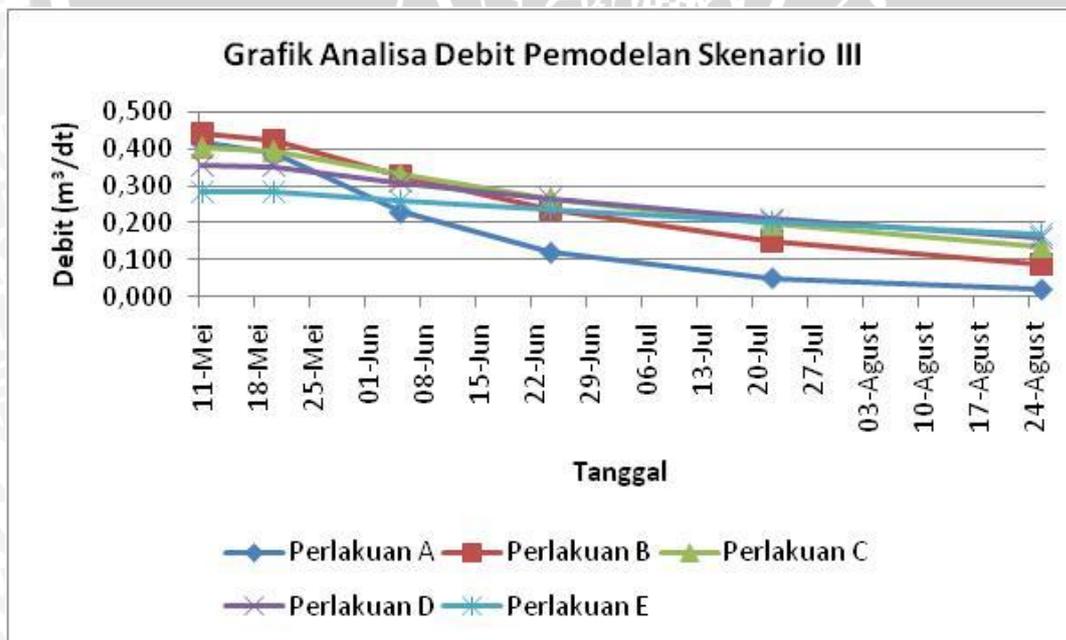
Perlakuan E:

Nilai LAT_TIME = 180, ESCO = 1, dan GW_DELAY = 180 untuk semua tataguna lahan, menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 4.39 Perbandingan pengukuran lapangan dengan hasil pemodelan AVSWAT

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m ³ /dt		%
11-Mei	0,572	0,284	50,339
20-Mei	0,550	0,285	48,185
05-Jun	0,183	0,262	30,133
24-Jun	0,260	0,235	9,479
22-Jul	0,076	0,202	62,365
25-Agust	0,360	0,169	53,143

Sumber: Pengukuran Lapangan dan Pemodelan AVSWAT



Gambar 4.21 Grafik Debit Perlakuan A, B, C, D dan E pada Skenario III

Dari skenario hasil input parameter AVSWAT 2000 maka dapat diperoleh nilai parameter debit model yang dihasilkan agar mendekati debit lapangan. Pada skenario I

digunakan perlakuan F, pada skenario II digunakan perlakuan E, dan pada skenario III digunakan perlakuan B. Nilai parameter untuk kalibrasi dapat dilihat pada tabel berikut:

Nilai CN

Tataguna Lahan	CN
Kebun	57,26
Padang Rumput	65,45
Pemukiman	62,16
Hutan	50,65
Sawah Tadah Hujan	68,33
Ladang	64,25

HRU	LAT_TIME	60
	ESCO	1
GW	GW_DELAY	60

Tabel 4.40 Hasil Simulasi Debit AVSWAT sesudah kalibrasi

Tanggal	Lapangan	Model	KR
	m^3/dt		%
11-Mei	0,572	0,440	23,100
20-Mei	0,550	0,422	23,334
05-Jun	0,183	0,325	43,673
24-Jun	0,260	0,235	9,606
22-Jul	0,076	0,149	48,917
25-Agust	0,360	0,088	75,611
Rata-rata	0,333	0,276	37,373

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan nilai KR (Kesalahan Relatif). Nilai KR yang terbesar adalah pada tanggal 25 Agustus 2010 sebesar 75,611% dan yang terkecil adalah pada tanggal 24 Juni 2010 sebesar 9,606% dengan rata-rata keseluruhan dari nilai KR sebesar 37,373%. Perbandingan antara debit lapangan dan debit hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.22 Grafik Debit Terhadap Data Terukur

4.6 Uji Korelasi Hasil Simulasi

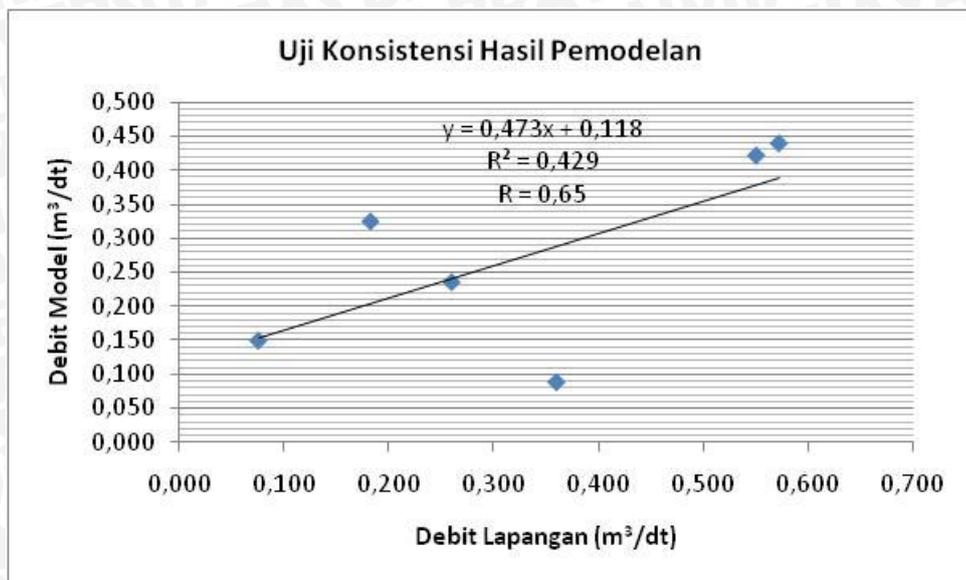
Data debit model dengan debit lapangan akan dilakukan uji korelasi untuk melihat apakah debit model memiliki hubungan yang baik dengan debit lapangan. Uji korelasi ini akan dilakukan dengan metode analisis regresi.

4.6.1 Analisis Regresi

Analisis regresi adalah analisis yang membahas hubungan dua variabel atau lebih. Derajat hubungan tersebut umumnya dinyatakan secara kuantitatif sebagai koefisien korelasi.

Nilai koefisien korelasi berkisar antara $-1,0 \leq R \leq 1,0$. Nilai ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

- $R = 1$: hubungan positif sempurna
- $0,6 < R < 1$: hubungan langsung positif baik
- $0 < R < 0,6$: hubungan langsung positif lemah
- $R = 0$: tidak terdapat hubungan linier
- $-0,6 < R < 0$: hubungan langsung negatif lemah
- $-1 < R < -0,6$: hubungan langsung negatif baik
- $R = -1$: hubungan negatif sempurna



Gambar 4.23 Uji korelasi analisis regresi

Dari hasil uji korelasi data dengan Metode Analisis Regresi diperoleh nilai koefisien korelasi (R) = 0,65 terbentuk antara $0,6 < R < 1$. Maka nilai R dari perbandingan debit model dengan debit pengamatan secara keseluruhan memiliki hubungan langsung positif baik.

4.6.2 Nash-Sutcliffe Efisiensi (NSE)

Nash-Sutcliffe digunakan untuk mengetahui perbedaan antara data dan model atau menilai daya prediksi/akurasi antara model dan data dengan rumus sebagai berikut:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2}$$

Dimana:

E = Efisiensi Perbedaan

O_i = Nilai Data

P_i = Nilai Model

\bar{O}_i = Nilai Rata-rata data

Dengan nilai E antara 1 (sempurna atau kesesuaian model dan data adalah akurat) hingga $-\infty$. Nilai $E > 0$ menunjukkan bahwa prediksi model adalah akurat dibandingkan data, nilai $E < 0$ menunjukkan data lebih akurat daripada model (Krause *et all*, 2005).

Tabel 4.41 Hasil Perhitungan NSE

Tanggal	Lapangan	Model	$(O_i - P_i)^2$	$(O_i - \bar{O}_i)^2$	E
11-Mei	0,572	0,440	0,017	0,057	0,326
20-Mei	0,550	0,422	0,016	0,047	
05-Jun	0,183	0,325	0,020	0,023	
24-Jun	0,260	0,235	0,001	0,005	
22-Jul	0,076	0,149	0,005	0,066	
25-Agust	0,360	0,088	0,074	0,001	
Rata-rata (\bar{O}_i)	0,333	Σ (Jumlah)	0,134	0,199	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas didapat nilai 0,326. Jadi dapat disimpulkan bahwa prediksi model adalah akurat dibandingkan nilai data.

4.6.3 Metode Koefisien Performance (Cp)

Metode ini berfungsi mengevaluasi perbedaan prosedur statistik prediksi hidrologi aliran air yaitu besaran debit di titik outlet pengukuran dengan prediksi *software* AVSWAT 2000 untuk harian dan bulanan. Berikut keterangan untuk masing-masing nilai *Cp* dapat dilihat pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Nilai *Cp* dan Keterangan

No	<i>Cp</i>	Keterangan
1	0.00- 0.30	Sempurna
2	0.3 – 0.5	Bagus
3	0.5 – 0.7	Rata-rata
4	0.7 – 1.0	Jelek
5	> 1.0	Prediksi lebih jelek daripada pengamatan

Nilai *Cp* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Cp = \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum(P_i - O_{avg})^2}$$

Dengan P_i = Prediksi

O_{avg} = Rata-rata Pengamatan

O_i = Pengamatan

Perhitungan nilai Koefisien Performance (*Cp*) dilakukan untuk melihat penyimpangan debit model dengan debit lapangan. Hasil perhitungan *Cp* selanjutnya dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4.43 Hasil Perhitungan Koefisien Performance (C_p)

Tanggal	Lapangan	Model	$(P_i - O_i)^2$	$(P_i - O_{avg})^2$	C_p
11-Mei	0,572	0,440	-0,132	0,106	0,652
20-Mei	0,550	0,422	-0,128	0,088	
05-Jun	0,183	0,325	0,142	-0,192	
24-Jun	0,260	0,235	-0,025	-0,098	
22-Jul	0,076	0,149	0,073	-0,185	
25-Agust	0,360	0,088	-0,272	-0,246	
Rata-rata	0,333	Σ (Jumlah)	-0,343	-0,526	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil uji akurasi data Metode *Koefisien Performance* diperoleh nilai C_p dari perbandingan debit model dengan debit lapangan secara keseluruhan masuk klasifikasi sempurna, dengan demikian data debit model bisa dijadikan patokan sebagai dasar dalam penentuan besarnya nilai limpasan permukaan, erosi dan sedimen di daerah studi.

4.7 Pembahasan Hasil Simulasi Pemodelan AVSWAT 2000

Dalam perhitungan prediksi ini yang ingin didapatkan adalah nilai keluaran berupa limpasan, erosi dan sedimen pada setiap titik outlet. Dimana faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tersebut dalam perhitungan kali ini berdasarkan input adalah jenis tanah, tata guna lahan, curah hujan dan debit.

Perkiraan hasil sedimen di Sub DAS Manting dengan model AVSWAT diperhitungkan dari erosi yang terjadi di unit lahan HRU, kemudian erosi yang terjadi di setiap unit lahan HRU tersebut akan dibawa oleh limpasan permukaan sampai ke anak sungai utama sebagai erosi masing-masing Sub DAS, dimana sebagian akan terdeposisi di cekungan-cekungan permukaan lahan, besarnya sedimen yang berasal dari erosi tersebut kemudian mengalami proses transportasi sedimen melalui anak sungai (*tributary channel*) sebelum akhirnya sampai ke sungai utama (*main channel*). Dalam proses transportasi sedimen di anak sungai dan sungai utama tersebut besarnya deposisi dan degradasi sedimen di sungai akan diperhitungkan, kemudian total hasil sedimen di Sub DAS Manting dihitung pada titik pengamatan di *outlet* sungai Manting.

Simulasi hasil pemodelan AVSWAT 2000 yang dilakukan adalah menggunakan tataguna lahan eksisting yang menghasilkan:

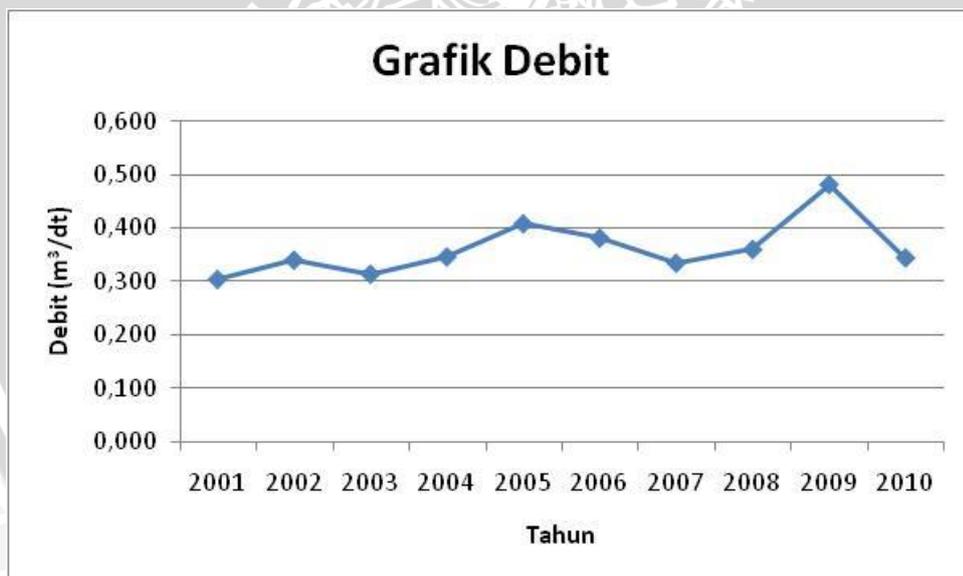
1. Fase di Lahan
 - a. Limpasan
 - b. Erosi

2. Fase di Sungai
 - a. Debit Banjir
 - b. Sedimen

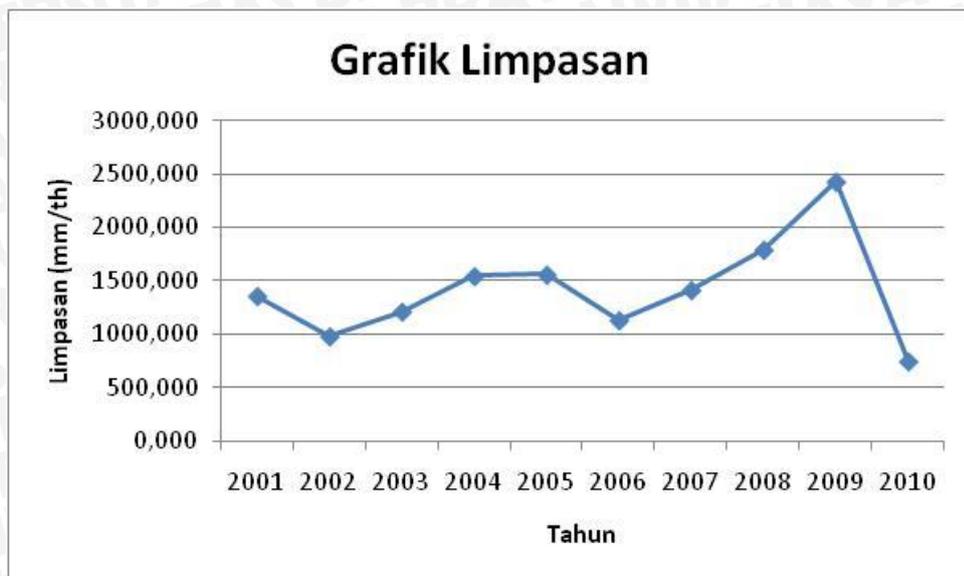
Tabel 4.44 Analisa Hasil Simulasi Tahunan

Tahun	Luas DAS	Debit	Limpasan	Erosi	Sedimen
	ha	m ³ /dt	mm/th	ton/ha/th	ton/ha/th
2001	8,166	0,303	1352,053	37,676	18,838
2002	8,166	0,340	973,278	16,595	8,298
2003	8,166	0,313	1205,796	16,806	8,403
2004	8,166	0,346	1538,921	21,189	10,595
2005	8,166	0,408	1553,582	24,428	12,214
2006	8,166	0,381	1123,548	18,072	9,036
2007	8,166	0,334	1407,588	18,205	9,103
2008	8,166	0,360	1786,110	31,643	15,822
2009	8,166	0,482	2426,866	46,905	23,453
2010	8,166	0,344	736,965	16,158	8,079
Rata-rata		0,361	1410,471	24,768	12,384

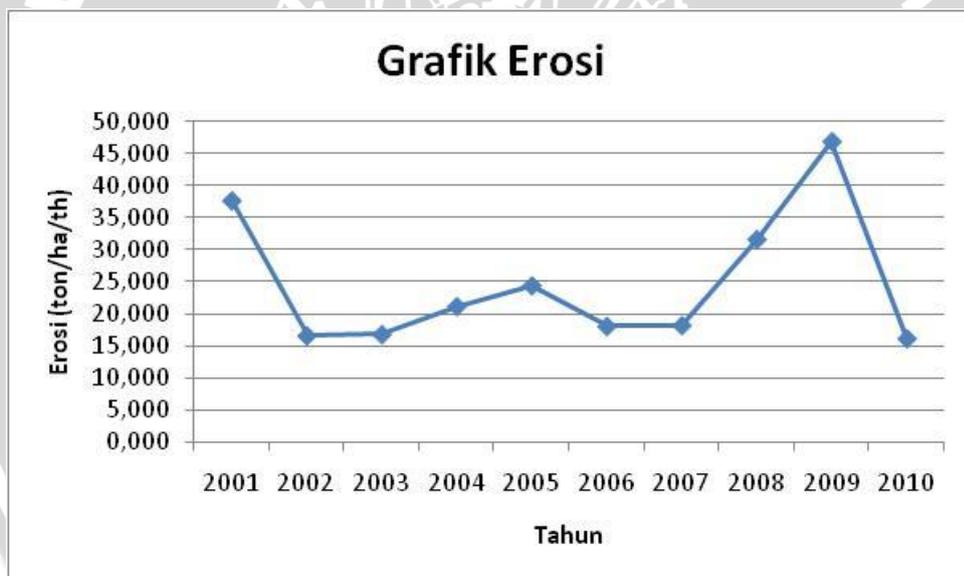
Sumber: Hasil Perhitungan



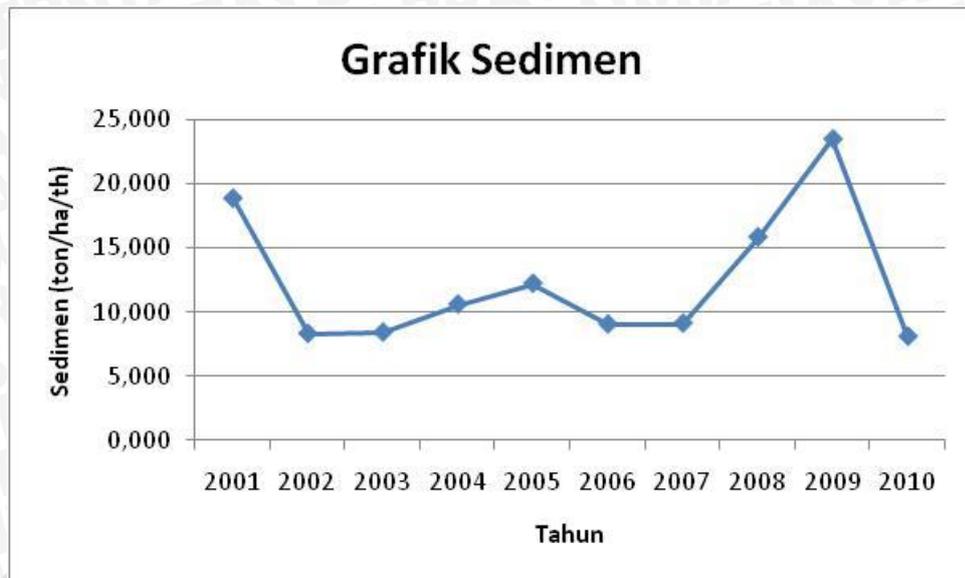
Gambar 4.24 Grafik Debit yang terjadi tiap tahun



Gambar 4.25 Grafik Limpasan yang terjadi tiap tahun

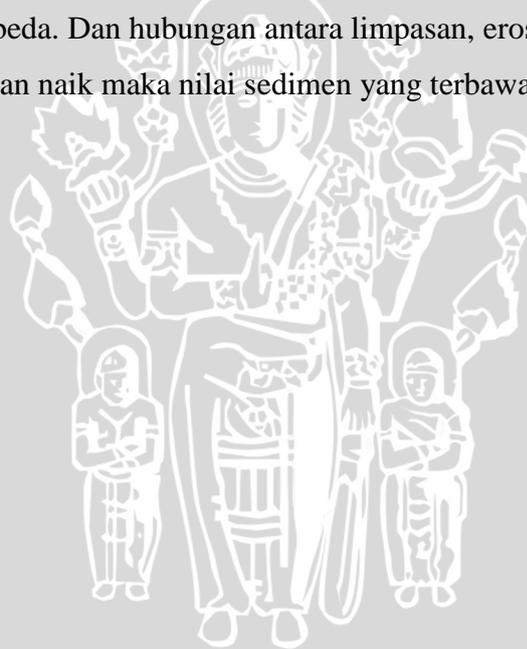


Gambar 4.26 Grafik Erosi yang dihasilkan tiap tahun



Gambar 4.27 Grafik Sedimen yang dihasilkan tiap tahun

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai limpasan, erosi dan sedimen pada tiap tahun berbeda. Dan hubungan antara limpasan, erosi dan sedimen sejajar dimana bila erosi dan limpasan naik maka nilai sedimen yang terbawa juga bertambah.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Berdasarkan studi model *SWAT* untuk pendugaan erosi, sedimen, dan limpasan pada Sub DAS Manting, maka didapatkan nilai sebagai berikut:
 - a. Nilai laju erosi rata-rata sebesar 24,768 ton/ha/th.
 - b. Nilai rata-rata sedimen pada sungai sebesar 12,384 ton/ha/th.
 - c. Nilai laju limpasan rata-rata sebesar 1410,471 mm/th.
2. Dari uji analisis regresi dapat ditarik kesimpulan bahwa perbandingan debit model dengan debit pengamatan secara keseluruhan memiliki hubungan langsung positif baik. Dengan nilai koefisien $R = 0,65$ dan $R^2 = 0,429$.
3. Dari hasil perhitungan NSE (Nash-Sutcliffe Efisiensi) didapat nilai 0,326. Jadi dapat disimpulkan bahwa prediksi model adalah akurat dibandingkan nilai data.
4. Dari hasil uji akurasi data Metode *Koefesien Performance* diperoleh nilai C_p 0,652. Dari perbandingan debit model dengan debit lapangan secara keseluruhan masuk klasifikasi rata-rata.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan setelah adanya analisa mengenai erosi, adalah studi analisa ini masih memiliki kekurangan dikarenakan data serta kelengkapan data penunjang keakuratan dengan lapangan masih terbatas. Karena studi yang dibangun secara *spatial* dengan SIG ini dapat memudahkan instansi untuk mengetahui daerah-daerah kritis yang perlu diwaspadai atau dilakukan rehabilitasi secara maksimal, maka disarankan agar instansi yang terkait menyempurnakan kelengkapan inventarisasi data seperti pemasangan AWLR dan pengambilan contoh sedimen dimana hal itu akan mendukung dilakukannya studi dengan hasil yang lebih mendekati kenyataan.

Software AVSWAT 2000 mempermudah pengguna dalam melakukan pemodelan fenomena-fenomena yang terjadi pada suatu DAS, namun demikian ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan program AVSWAT 2000 agar tidak terjadi masalah dalam aplikasinya. Hal-hal itu adalah:

1. Proses pembuatan peta digital harus diusahakan seteliti mungkin, karena semakin teliti maka akan semakin bagus hasil analisa program.

2. Penyimpanan file-file input data AVSWAT 2000 ini sebaiknya diorganisir dengan baik agar tidak membingungkan pada saat diperlukan.
3. Susunan input data AVSWAT 2000 dalam suatu file input data dalam format (*.dbf) harus benar sesuai dengan format susunan yang diminta program, apabila tidak maka program tidak akan mengenali data yang dimasukkan dan mengakibatkan program tidak berjalan dengan semestinya.
4. Kesabaran dan ketelitian sangat diperlukan dalam menjalankan program AVSWAT 2000 ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S., 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit Institut Pertanian Bogor Press, Bogor.
- Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Harto Br, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Istanto, Haryo. 2009. *Aplikasi Model SWAT untuk pendugaan Erosi dan Sedimentasi di DAS Clungup Kabupaten Malang*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.
- Prahasta, Eddy. 2005. *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: CV. Informatika
- S. L. Neitch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. William, K. W. King. 2002. *Soil and Water Assesment Tool Theoretical Documentation version 2000*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory. Agricultural Research Service. Temple, Texas. Blackland Reseach Center. Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. Published 2002 by Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.
- Santoso, Budi. 1994. *Pelestarian Sumber Daya Alam dan Lingkungan Hidup*. Malang: IKIP Malang
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Statistik Untuk Analisa Data Jilid I*. Bandung: Nova
- Soewarno. 1995. *Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid II*. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Suhartanto, Ery. 2008. *Panduan AVSWAT 2000 dan Aplikasinya di bidang Teknik Sumber Daya Air*. Malang: C.V. Asrori
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Yogyakarta: ANDI
- Utomo, Wani Hadi. 1987. *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya
- Yuanita, Mike. 2010. *Aplikasi Model AVSWAT 2000 untuk memprediksi Erosi, Sedimentasi dan Limpasan di DAS Sampean*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.