

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

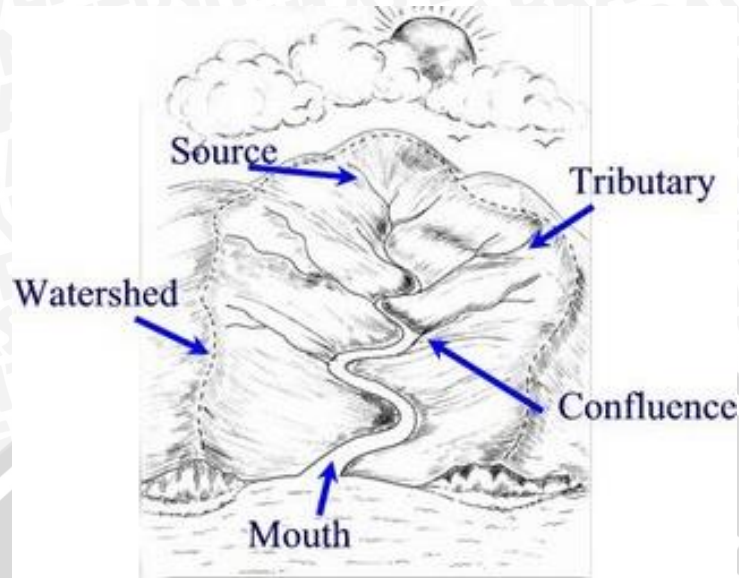
2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.1.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS)

Sungai adalah salah satu sumber air yang terdapat di atas permukaan tanah yang mempunyai komponen badan sungai dan kawasannya. Sungai mempunyai kawasan tampungan air yang akan masuk ke badan sungai, dan secara umum dinamakan Daerah Aliran Sungai (DAS).

Asdak (2004) mendefinisikan DAS sebagai salah satu wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air yang merupakan ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumber daya manusia sebagai pemanfaat sumber daya alam.

Setiap DAS besar merupakan gabungan dari beberapa DAS sedang atau sub DAS, dan Sub DAS adalah gabungan dari Sub DAS kecil-kecil. Bagian hulu dari suatu DAS merupakan daerah yang mengendalikan aliran sungai dan menjadi suatu kesatuan dengan daerah di bagian hilir yang menerima aliran tersebut. Pengetahuan karakteristik DAS dan alur sungai dapat dinyatakan secara kuantitatif dan kualitatif (Soewarno, 1991:20).



Gambar 2.1 Daerah aliran sungai (DAS)

Sumber: <https://wahyuancol.wordpress.com/2011/01/21/sungai-1/>

2.1.2. Karakteristik daerah aliran sungai (DAS)

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi:

1. Luas dan Bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi, apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik control (waktu konsentrasi) dan juga atau intensitas hujan.

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pada umumnya dapat dibedakan menjadi empat bentuk DAS, untuk lebih jelasnya dapat diuraikan sebagai berikut (Soewarno, 1991:23):

a. Radial

Terjadi karena arah alur sungai seolah-olah memusat pada suatu titik sehingga menggambarkan adanya bentuk radial, kadang-kadang gambaran tersebut berbentuk kipas atau lingkaran. Sebagai akibat dari bentuk tersebut maka waktu

yang diperlukan aliran yang datang dari segala penjuru arah alur sungai memerlukan waktu yang hampir bersamaan. Apabila terjadi hujan yang sifatnya merata di seluruh DAS akan menyebabkan terjadi banjir besar.

b. Memanjang

Biasanya induk sungainya akan memanjang dengan anak-anak sungai langsung masuk ke induk sungai. Kadang - kadang berbentuk seperti bulu burung. Bentuk ini biasanya akan menyebabkan debit banjirnya relative kecil karena perjalanan banjir dari anak sungai berbeda-beda waktunya.

c. Paralel

DAS ini dibentuk oleh dua jalur sub DAS yang bersatu di bagian hilirnya. Apabila terjadi banjir di daerah hilir biasanya setelah di sebelah hilir titik pertemuan kedua alur sungai sub DAS tersebut.

d. Komplek

DAS ini merupakan gabungan dasar dua atau lebih bentuk DAS.

2.1.3. Hidrologi dan ekosistem DAS

Hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Ini meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan penghidupan di planet bumi ini (Soemarto, 1987:15).

a. Siklus hidrologi

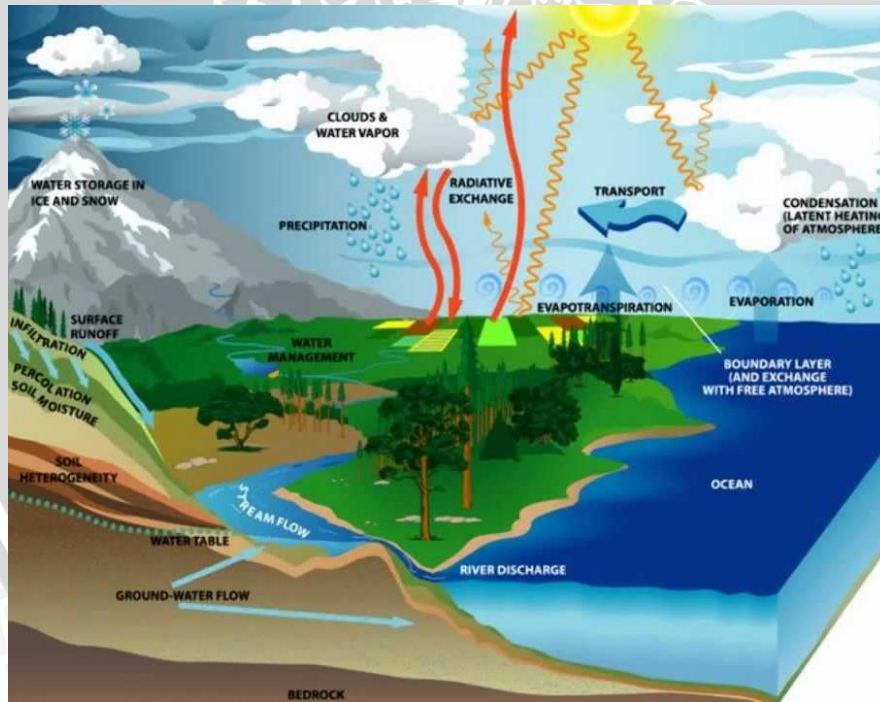
Siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1987:17).

Air laut menguap karena adanya radiasi matahari, dan awan yang terjadi oleh uap air, bergerak di atas daratan berhubung didesak oleh angin. Presipitasi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju yang jatuh ke tanah yang membentuk limpasan (*runoff*) yang mengalir kembali ke laut. Beberapa di antaranya masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan bergerak terus ke bawah (*perkolasi*) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) yang terdapat di bawah

permukaan air tanah atau permukaan phreatik. Air dalam daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati akuifer masuk ke sungai atau kadang-kadang langsung ke laut.

Air yang merembes ke dalam tanah (*infiltrasi*) member hidup kepada tumbuh-tumbuhan dan beberapa di antaranya naik ke atas lewat akar dan batangnya, sehingga terjadi transpirasi, yaitu evaporasi (penguapan) lewat tumbuh-tumbuhan melalui bagian bawah daun (*stomata*). Air yang tertahan dipermukaan tanah (*surface detention*) sebagian diuapkan dan sebagian besar mengalir masuk ke sungai-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).



Gambar 2.2 Siklus hidrologi

Sumber: <http://bardowenang.blogspot.co.id/2010/04/siklus-air-di-bumi.html>

b. Ekosistem DAS

DAS terdapat suatu ekosistem dimana di dalamnya terjadi suatu proses interaksi antara faktor-faktor biotik, non biotik dan manusia. Sebagai suatu ekosistem terdapat masukan (*input*) yang selama berlangsung menghasilkan keluaran (*output*). Komponen masukan dalam ekosistem DAS meliputi curah hujan, sedangkan keluaran terdiri dari debit air dan muatan sedimen. Komponen-komponen DAS yang berupa vegetasi, tanah dan saluran atau sungai hanya bertindak sebagai prosesor (Suripin, 2002:183).

2.2. Analisa hidrologi

2.2.1. Menambah data curah hujan yang hilang dalam tahun tertentu dengan metode *ratio normal*

Dari stasiun hujan yang berpengaruh pada DAS yang ditinjau diperlukan data curah hujan harian 10 tahun terakhir. Apabila pada kenyataannya terdapat data yang hilang atau kesenjangan (*gap*) data suatu stasiun penakar di sekitarnya pada saat yang sama. Pada stasiun yang lain juga ditinjau curah hujan maksimum pada waktu yang sama, dengan cara sebagai berikut:

1. Tentukan di salah satu penakar hujan saat terjadi hujan harian maksimum.
2. Dicari besarnya curah hujan pada tanggal dan bulan yang sama untuk stasiun yang lain sesuai dengan tanggal dan bulan yang terjadi pada No. 1.

Cara yang dipakai ini dinamakan *ratio normal*. Syarat untuk menggunakan cara ini adalah tinggi hujan rata-rata tahunan stasiun penakar yang datanya hilang harus diketahui, disamping dibantu dengan data tinggi hujan rata-rata tahunan dan data pada stasiun-stasiun penakar hujan disekitarnya. Persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut (Soemarto, 1999:13):

$$R_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \frac{A_{nx}}{A_{ni}} \quad (2-1)$$

dengan:

R_x = tinggi curah hujan yang dicari pada stasiun x.

n = banyaknya stasiun penakar hujan disekitar stasiun x yang dipakai mencari data x .

R_i = tinggi curah hujan pada stasiun disekitar stasiun x .

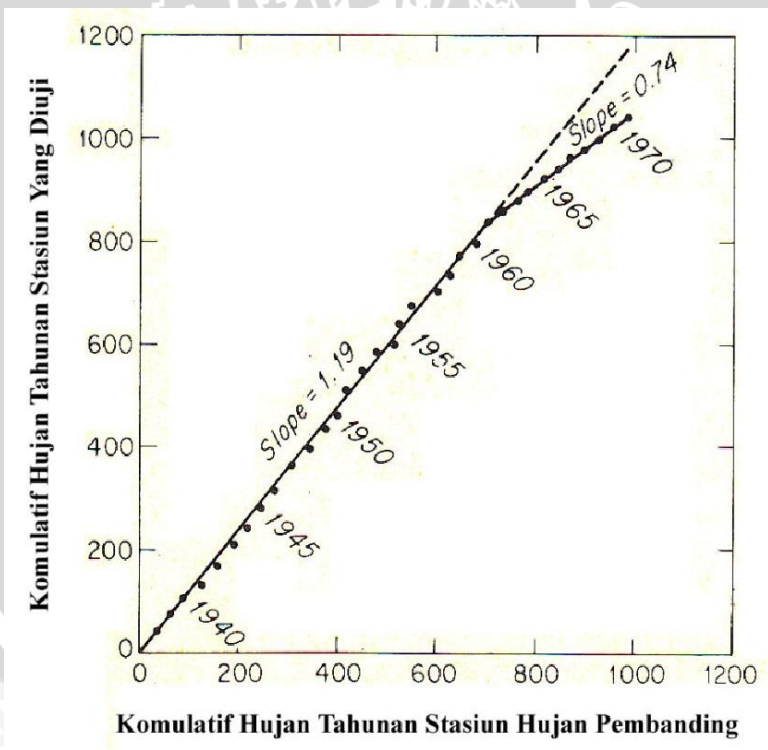
A_{nx} = tinggi curah hujan rata-rata tahunan di stasiun x .

A_{ni} = tinggi curah hujan rata-rata tahunan pada stasiun-stasiun di sekitar stasiun x .

2.2.2. Uji konsistensi data

Jika data hujan tidak konsisten yang diakibatkan oleh berubahnya atau terganggunya lingkungan di sekitar tempat dimana penakar hujan di pasang, misalnya terlindung oleh pohon, terletak berdekatan dengan gedung tinggi, perubahan cara penakaran dan pencatatannya, pemindahan letak penakar dan sebagainya, maka seolah-olah terjadi penyimpangan terhadap trend semula.

Hal tersebut dapat diselidiki dengan menggunakan lengkung massa ganda seperti terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Lengkung massa ganda

Sumber: Soemarto(1987:38)

Kalau tidak terdapat perubahan lingkungan maka akan didapatkan garis ABC, tetapi karena pada suatu tahun terjadi perubahan lingkungan maka akan didapat garis patah ABC". Penyimpangan tiba-tiba dari garis semula menunjukkan adanya perubahan tiba-tiba dalam pengamatan. Jadi perubahan tersebut bukan disebabkan oleh perubahan iklim atau keadaan hidrologis yang dapat menyebabkan adanya perubahan trend (Soemarto, 1987:38).

2.3. Limpasan permukaan (*surface runoff*)

Untuk menentukan besarnya volume limpasan permukaan dengan menggunakan model SWAT (*Soil And Water Assessment Tool*), metode yang digunakan adalah metode SCS (*Soil Conservation Service*) *Curve Number* (SCS, 1972). *The Soil Conservation Service* (1972) atau metode SCS adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai abstraksi dari curah hujan. Metode ini berasumsi bahwa rasio dari abstraksi dari curah hujan. Metode ini berasumsi bahwa rasio dari abstraksi langsung dengan simpanan air permukaan (*retention*) sama dengan rasio nilai limpasan permukaan langsung (*direct runoff*) dengan nilai potensial limpasan (*potential runoff*) (Chow, 1988:147).

Metoda SCS dikembangkan dari hasil pengamatan curah hujan selama bertahun-tahun dan melibatkan banyak daerah pertanian di Amerika Serikat. Perlu dikemukakan bahwa metoda ini berlaku terutama untuk luas DAS lebih kecil dari 13 km² dengan rata-rata kemiringan lahan kurang dari 30%. Metoda SCS berusaha mengaitkan 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 (Asdak, 2002:182). Secara terinci perumusan dari metode ini adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad (2-2)$$

dimana:

Q= Kedalaman hujan berlebih (*accumulated runoff/rainfall excess*) (mm)

I_a= Abstraksi awal (*initial abstraction*)

P= Kedalaman hujan harian (mm)

S= Volume dari total simpanan permukaan (*retention parameter*) (mm)

Dimana persamaan (2-2) merupakan persamaan yang dipakai untuk menentukan kedalaman dari curah hujan berlebih (*depth excess rainfall*) atau limpasan permukaan. Korelasi antara nilai I_a dengan S adalah (Chow, 1988:148):

$$I_a = 0,2 S \quad (2-3)$$

Untuk memudahkan perhitungan kelembaban awal (*antecedent moisture condition*), tataguna lahan, dan konservasi tanah, Dinas Konservasi Tanah Amerika menentukan besarnya S sebagai berikut:

$$S = \left(\frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \right) \quad (2-4)$$

dimana:

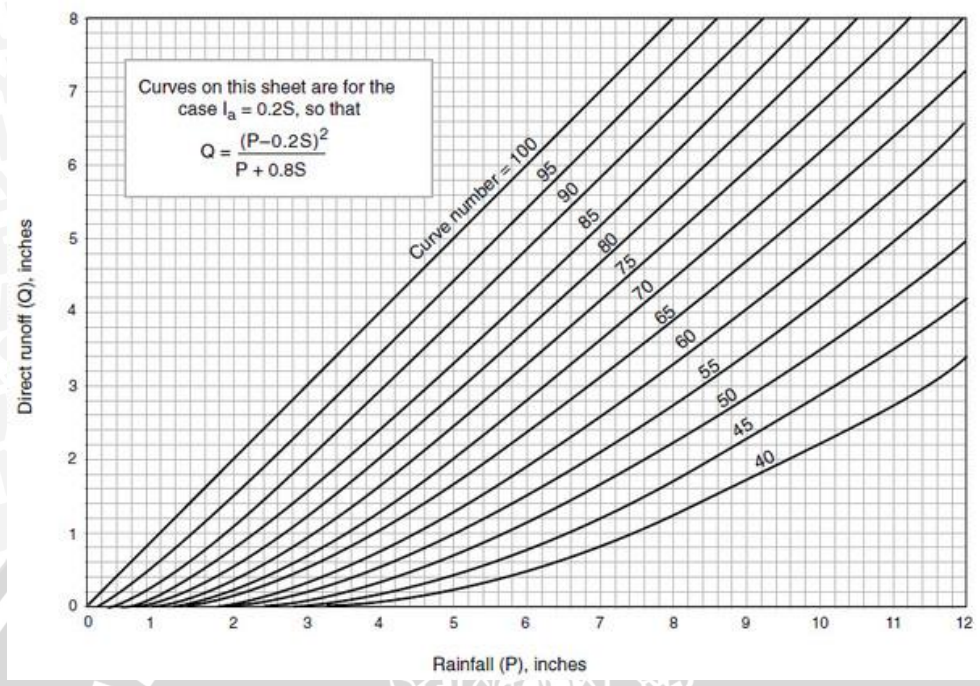
CN=Bilangan kurva air larian, bervariasi dari 0 hingga 100

Dengan mengplotkan nilai dari P dan Q pada kurva SCS maka nilai CN dapat ditentukan. Metode SCS mengelompokkan jenis tanah dalam 4 (empat) jenis yaitu berdasar tipe tanah dan tataguna lahannya (*hydrology soil group*).

Pada abstraksi awal, I_a biasanya menggunakan pendekatan $0.2 S$ sehingga persamaan (2-2) menjadi:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (2-5)$$

Limpasan permukaan akan terjadi bila $P > I_a$. Grafik penyelesaian untuk nilai CN yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik hubungan limpasan permukaan dengan curah hujan pada metode *SCSCurve Number*

Sumber: USDA, TR-55

2.3.1.SCS curve number

SCSCurve Number adalah fungsi dari permeabilitas tanah, tata guna lahan, kondisi air tanah. Nilai *CN* untuk kondisi kelembaban II tercantum pada **Tabel 2.1**, **Tabel 2.2** dan **Tabel 2.3** untuk berbagai tutupan lahan dan jenis tanah (SCS Engineering Division, 1986 dalam SWAT2000 Theoretical Documentation, 2002:95).

Tabel 2.1 Nomor kurva limpasan untuk lahan pertanian yang dibudidayakan

Tataguna Lahan	Perawatan	Kondisi Hidrologi	Kelompok Tanah Hidrologi				
			A	B	C	D	
Kosong	Tanah kosong	-	77	86	91	94	
	Penutup sisa tanaman	Buruk	76	85	90	93	
		Baik	74	83	88	90	
Tanaman berjajar	Baris lurus	Buruk	72	81	88	91	
		Baik	67	78	85	89	
	Baris lurus dengan sisa ditanami	Buruk	71	80	87	90	
		Baik	64	75	82	85	
	Berkontur	Buruk	70	79	84	88	
		Baik	65	75	82	86	
	Berkontur dengan sisa ditanami	Buruk	69	78	83	87	
		Baik	64	74	80	82	
	Berkontur dan berteras	Buruk	66	74	80	82	
		Baik	62	71	78	81	
	Berkontur dan berteras dengan sisa ditanami	Buruk	65	73	79	81	
		Baik	61	70	77	80	
	Padi-padian	Baris lurus	Buruk	65	76	84	88
			Baik	63	75	83	87
Baris lurus dengan sisa ditanami		Buruk	64	75	83	86	
		Baik	60	72	80	84	
Berkontur		Buruk	63	74	82	85	
		Baik	61	73	81	84	
Berkontur dengan sisa ditanami		Buruk	62	73	81	84	
		Baik	60	72	80	83	
Berkontur dan berteras		Buruk	61	72	79	82	
		Baik	59	70	78	81	
Berkontur dan berteras dengan sisa ditanami		Buruk	60	71	78	81	
		Baik	58	69	77	80	
Kacang-kacangan unggulan siaran atau rotasi		Baris lurus	Buruk	66	77	85	89
			Baik	58	72	81	85
	Berkontur	Buruk	64	75	83	85	
		Baik	55	69	78	83	
	Berkontur dan berteras	Buruk	63	73	80	83	
		Baik	51	67	76	80	

Sumber: SWAT2000 Theoretical Documentation, 2002:95

Tabel 2.2 Nomor kurva limpasan untuk lahan pertanian lainnya

Tataguna Lahan	Kondisi Hidrologi	Kelompok Tanah Hidrologi			
		A	B	C	D
Padang rumput atau padang rumput terus menerus untuk pakan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	78
Padang rumput terus menerus, dilindungi dari penggembalaan dan umumnya dipangkas untuk jerami	-	35	56	70	77
Semak-semak - campuran rumput dengan semak-semak elemen utama	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	83
Tanaman kayu	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Pertanian- bangunan, jalur, jalan masuk, dan banyak di sekitarnya	-	59	74	82	86

Sumber: SWAT2000 Theoretical Documentation, 2002:96

Tabel 2.3 Nomor kurva limpasan untuk daerah perkotaan

Tataguna Lahan	Kondisi Hidrologi	Kelompok Tanah Hidrologi			
		A	B	C	D
Perkotaan yang sepenuhnya dikembangkan Ruang terbuka (rumput, taman, lapangan golf, pemakaman, dan lain-lain)	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Parkir beraspal, atap, jalan masuk (tidak termasuk kanan jalan)	-	98	98	98	98
Jalan beraspal; parit terbuka (termasuk kanan jalan)	-	83	89	92	93
Jalan kerikil (termasuk kanan jalan)	-	76	85	89	91
Jalan kotor (termasuk kanan jalan)	-	72	82	87	89

Sumber: SWAT2000 Theoretical Documentation, 2002:96

2.3.2. Debit puncak limpasan (*peak runoff rate*)

Nilai limpasan puncak atau debit puncak adalah nilai maksimum dari limpasan yang terjadi karena disebabkan oleh intensitas hujan yang turun. Nilai ini merupakan indikator dari kekuatan erosi yang dapat ditimbulkan pada lahan dan dapat digunakan untuk memprediksi angkutan sedimen. Perhitungan SWAT untuk nilai debit puncak ini adalah dengan menggunakan modifikasi metode rasional.

Debit puncak dihitung berdasarkan rumus Rasional (Sosrodarsono 1987:144). Persamaan metode rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{C.I.A}{3,6} \quad (2-6)$$

dengan:

Q= limpasan permukaan puncak (m^3/dt)

C= koefisien limpasan

I= intensitas hujan (mm/jam)

A= luas wilayah DAS (ha)

3,6= faktor konversi

2.3.3. 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:

$$C = \frac{Q_{surf}}{R_{day}} \quad (2-7)$$

dimana:

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

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

2.3.4. Intensitas hujan

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

$$i = \frac{R_{tc}}{t_{conc}} \quad (2-8)$$

dimana:

i = Intensitas hujan (mm/jam)

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

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

2.4. Erosi

Erosi adalah peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami. Pada peristiwa erosi, tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu tempat terkikis dan terangkut kemudian diendapkan pada suatu tempat lain (Arsyad, 1989:50).

Erosi merupakan proses alamiah yang tidak biasa atau sulit untuk dihilangkan sama sekali atau tingkat erosinya nol, khususnya untuk lahan-lahan yang diusahakan untuk pertanian. Tindakan yang dapat dilakukan adalah mengusahakan supaya erosi yang terjadi masih dibawah ambang batas yang maksimum (*soil loss tolerance*), yaitu besarnya erosi yang tidak melebihi laju pembentukan tanah (Suripin, 2002).

2.4.1. Proses terjadinya erosi

Proses erosi terdiri atas tiga bagian yang berurutan :

1. pengelupasan (*detachment*),
2. pengangkutan (*transportation*), dan
3. pengendapan (*sedimentation*) (Asdak, 2004:339).

Proses erosi oleh air merupakan kombinasi dua sub proses yaitu :

1. Penghancuran struktur tanah menjadi butir-butir primer oleh energi tumbuk butir-butir hujan yang menimpa tanah dan perendaman oleh air yang tergenang, dan pemindahan (pengangkutan) butir-butir tanah oleh percikan hujan, dan
2. Penghancuran struktur tanah diikuti pengangkutan butir-butir tanah tersebut oleh air yang mengalir dipermukaan tanah. Secara skematis proses terjadinya erosi diperlihatkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Skema proses terjadinya erosi tanah

Sumber: Arsyad (1989:102)

Air hujan yang menimpa tanah-tanah terbuka akan menyebabkan tanah terdispersi. Sebagian dari air hujan yang jatuh tersebut akan mengalir di atas permukaan tanah. Banyaknya air hujan yang mengalir diatas permukaan tanah tergantung pada hubungan antara jumlah dan intensitas hujan dengan kapasitas infiltrasi tanah dan kapasitas penyimpanan air tanah. Kekuatan perusak air yang mengalir diatas permukaan tanah akan semakin besar dengan semakin curam dan makin panjang lereng permukaan tanah.

Tumbuh-tumbuhan yang hidup diatas permukaan tanah dapat memperbaiki kemampuan tanah menyerap air dan memperkecil kekuatan perusak butir-butir hujan yang jatuh, dan daya dispersi dan angkut aliran air di atas permukaan tanah. Perlakuan atau tindakan-tindakan yang diberikan manusia terhadap tanah dan tumbuh-tumbuhan di atasnya akan menentukan apakah tanah itu akan menjadi baik dan produktif atau menjadi rusak (Arsyad, 1989:101).

2.4.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi

Erosi adalah akibat interaksi kerja antara faktor-faktor iklim, topografi, tumbuh-tumbuhan (vegetasi), dan manusia terhadap tanah (Arsyad, 1989:102) yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$E = f(i, r, v, t, m) \quad (2-9)$$

dimana :

E = Erosi

i = Iklim

v = Vegetasi

m = Manusia

f = fungsi

r = Topografi

t = Tanah

a. Iklim

Iklim merupakan faktor terpenting dalam masalah erosi sehubungan dengan fungsinya. Sebagai agen pemecah dan transpor. Faktor iklim yang mempengaruhi erosi adalah hujan (Arsyad, 1989:103). Banyaknya curah hujan, intensitas dan distribusi hujan menentukan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah dan kecepatan permukaan serta besarnya kerusakan erosi. Angin adalah faktor lain yang menentukan kecepatan jatuh butir hujan. Angin selain sebagai agen transport dalam erosi di beberapa kawasan juga bersama-sama dengan temperatur, kelambaban dan penyinaran matahari berpengaruh terhadap evapotranspirasi, sehingga mengurangi kandungan air dalam tanah yang berarti memperbesar kembali kapasitas infiltrasi tanah.

b. Topografi

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor yang menentukan karakteristik topografi suatu daerah aliran sungai. Kedua faktor tersebut penting untuk terjadinya erosi

karena faktor-faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume air larian (Asdak, 2004:352). Unsur lain yang berpengaruh adalah konfigurasi, keseragaman dan arah lereng (Arsyad, 1989:112).

Panjang lereng dihitung mulai dari titik pangkal aliran permukaan sampai suatu titik dimana air masuk ke dalam saluran atau sungai, atau dimana kemiringan lereng berkurang sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran air berubah. Air yang mengalir di permukaan tanah akan terkumpul di ujung lereng. Dengan demikian berarti lebih banyak air yang mengalir dan semakin besar kecepatannya di bagian bawah lereng dari pada bagian atas.

c. Vegetasi

Vegetasi penutup tanah yang baik seperti rumput yang tebal, atau hutan yang lebat akan menghilangkan pengaruh hujan dan topografi terhadap erosi (Arsyad, 1989:117). Asdak (2004) mengemukakan bahwa yang lebih berperan dalam menurunkan besarnya erosi adalah tumbuhan bahwa karena ia merupakan stratum vegetasi terakhir yang akan menentukan besar kecilnya erosi percikan. Pengaruh vegetasi terhadap aliran permukaan dan erosi dibagi dalam lima bagian (Arsyad, 1989:117), yakni:

1. Sebagai intersepsi hujan oleh tajuk tanaman.
2. Mengurangi kecepatan aliran permukaan dan kekuatan perusak air.
3. Pengaruh akar dan kegiatan-kegiatan biologi yang berhubungan dengan pertumbuhan vegetasi dan pengaruhnya terhadap stabilitas struktur dan porositas tanah.
4. Transpiransi yang mengakibatkan kandungan air tanah berkurang sehingga meningkatkan kapasitas infiltrasi.

d. Tanah

Arsyad (1989), menerangkan bahwa berbagai tipe tanah mempunyai kepekaan terhadap erosi yang berbeda-beda. Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kepekaan erosi adalah (1) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi laju infiltrasi, permeabilitas menahan air, dan (2) sifat-sifat tanah yang mempengaruhi ketahanan struktur tanah terhadap dispersi dan pengikisan oleh butir-butir hujan yang jatuh dan aliran permukaan. Sifat-sifat tanah yang mempengaruhi erosi adalah tekstur, struktur, bahan organik, kedalaman, sifat lapisan tanah, dan tingkat kesuburan tanah.

e. Manusia

Manusia dapat mencegah dan mempercepat terjadinya erosi, tergantung bagaimana manusia mengelolanya. Manusia yang menentukan apakah tanah yang dihasilkannya akan rusak dan tidak produktif atau menjadi baik dan produktif secara lestari. Banyak faktor yang menentukan apakah manusia akan mempertahankan dan merawat serta mengusahakan tanahnya secara bijaksana sehingga menjadi lebih baik dan dapat memberikan pendapatan yang cukup untuk jangka waktu yang tidak terbatas (Arsyad, 1989).

2.4.3. Indeks bahaya erosi

Indeks bahaya erosi merupakan petunjuk besarnya bahaya erosi pada suatu lahan, yang didefinisikan sebagai berikut (Hammer 1981 dalam Arsyad, 2010):

$$\text{Indeks Bahaya Erosi} = \frac{\text{Erosi potensial} \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right)}{T \left(\frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right)} \quad (2-10)$$

Dengan T adalah besarnya erosi yang masih dibiarkan.

2.5. Perkiraan besarnya erosi

Pengukuran dan pendugaan erosi sulit untuk dilakukan dengan tepat karena proses kejadian dan faktor yang mempengaruhinya sangat kompleks. Tetapi dengan beberapa asumsi dan penyederhanaan, pengukuran dan pendugaan erosi dapat dilakukan dengan tingkat pendekatan yang bisa diterima. Ada berbagai macam cara pengamatan atau pengukuran erosi yang terjadi, antara lain dengan pengamatan langsung di lapangan, interpretasi peta topografi dan foto udara serta pengukuran langsung dengan percobaan. Dalam studi ini, dalam menentukan besarnya laju erosi digunakan dua metode yaitu metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) atau Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) dan *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE) atau Modifikasi Persamaan Umum Kehilangan Tanah (MPUKT).

2.5.1. Metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*) atau Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT)

Model USLE adalah metode yang paling umum digunakan. Metode USLE dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan besarnya erosi untuk berbagai macam kondisi tata guna lahan dan kondisi iklim yang berbeda. USLE memungkinkan perencana memprediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan (tindakan konservasi lahan). USLE dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) dan erosi alur di bawah kondisi tertentu. Persamaan tersebut juga dapat memprediksi erosi pada lahan-lahan non pertanian, tapi tidak dapat untuk memprediksi pengendapan dan tidak memperhitungkan hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai (Suripin, 2002:69). Persamaan USLE adalah sebagai berikut:

$$E_a = R \times K \times LS \times C \times P \quad (2-11)$$

dimana:

E_a = banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu (ton/ha/tahun)

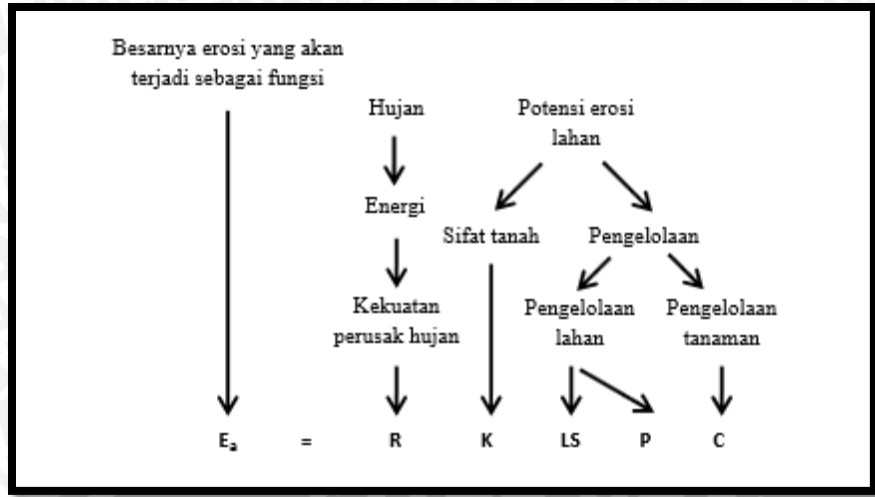
R = faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan

K = faktor erodibilitas tanah

LS = faktor panjang-kemiringan lereng

C = faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman

P = faktor tindakan konservasi praktis



Gambar 2.6 Skema persamaan USLE

Sumber: Arsyad 1989 dalam Suripin (2002:71)

a. Faktor erositivitas hujan (R)

Faktor erositivitas hujan didefinisikan sebagai jumlah satuan indeks erosi hujan dalam setahun. Nilai R yang merupakan daya rusak hujan, dapat ditentukan dengan persamaan yang dilaporkan oleh Wischmeier, 1959 (dalam Renard, et.al, 1996) sebagai berikut (Suripin, 2002:71):

$$R = \sum_{i=1}^n EI \quad (2-12)$$

dimana:

R = faktor erositivitas hujan (KJ/ha/tahun)

n = jumlah kejadian hujan dalam setahun

EI₃₀ = interaksi energi dengan intensitas maksimum 30 menit

Dalam penelitian Bols pada tahun 1978 untuk menentukan besarnya erositivitas hujan berdasarkan penelitian di Pulau Jawa dan Madura (Suripin, 2002:72), didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$EI_{30} = 6,119 \times Pb^{1,211} \times N^{-0,747} \times Pmax^{0,526} \quad (2-13)$$

dimana:

EI₃₀ = indeks erosi hujan bulanan (Kj/ha)

P_b = curah hujan bulanan (cm)

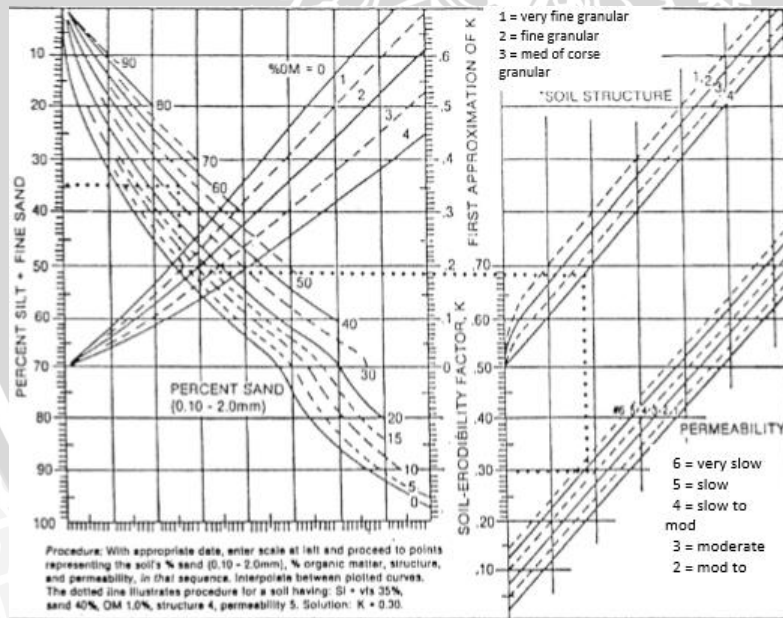
N = jumlah hari hujan per bulan

P_{max} = jumlah hujan maksimum harian (24 jam) dalam bulan yang bersangkutan

EI_{30} tahunan adalah jumlah EI_{30} bulanan (persamaan 2.2).

b. Faktor erodibilitas tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energy kinetik air hujan. Meskipun besarnya resistensi tersebut diatas akan tergantung pada topografi, kemiringan lereng, dan besarnya gangguan oleh manusia. Besarnya erodibilitas juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, kandungan organic, dan kimia tanah. Faktor erodibilitas tanah dapat diestimasi dengan nomograf K seperti pada Gambar 2.3 (Asdak, 2004:360).



Gambar 2.7 Nomograf K yang dikembangkan Wischmeier

Sumber: Asdak(2004)

Sebagai keterangan untuk menghitung nilai K dengan nomograf, berikut disajikan tabel pelengkapya yaitu tipe Struktur Tanah pada Tabel 2.4. Klasifikasi Butir-butir Primer Tanah pada Tabel 2.5, dan Penilaian Permeabilitas Tanah pada Tabel 2.6.

Tabel 2.4 Penilaian struktur tanah

Tipe Struktur Tanah (diameter)	Kode penilaian
Granular sangat halus (<1mm)	1
Granular halus (1-2 mm)	2
Granular sedang dan besar (2-10 mm)	3
Berbentuk gumpal,lempeng,pejal	4

Sumber : Suripin (2002:74)

Tabel 2.5 Klasifikasi butir-butir primer tanah

Fraksi Tanah	Diameter (mm)
Kerikil	>2
Pasir Kasar	2,0-0,2
Pasir Halus	0,2-0,02
Debu	0,002-0,02
Liat	<0,002

Sumber : Suripin (2002:75)

Tabel 2.6 Penilaian permeabilitas tanah

Kelas Permeabilitas Tanah (Kecepatan)	Kode Penilaian
Sangat Lambat (<0,5 cm/jam)	1
Lambat (0,5-2,0)	2
Lambat sampai sedang (2,0-6,3)	3
Sedang (6,3-12,7)	4
Sedang sampai cepat (12,7 – 25,4)	5
Cepat (>25,4)	6

Sumber : Suripin (2002:75)

Bahan organik tanah terdiri dari sisa makhluk hidup, baik yang berasal dari manusia, hewan maupun tumbuhan termasuk mikroorganisme yang telah melapuk. Bahan organik

sangat berperan pada proses pembentukan, pengikatan, dan penstabilan agregat tanah. Pengaruh utamanya adalah memperlambat aliran permukaan, meningkatkan infiltrasi, memantapkan agregat tanah dan relatif tidak merusak.

c. Faktor panjang-kemiringan lereng (LS)

Faktor LS, kombinasi antara faktor panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) merupakan nisbah besarnya erosi dari suatu lereng dengan panjang dan kemiringan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan dengan panjang 22,13 m dan kemiringan 9 %. Nilai LS untuk sembarang panjang dan kemiringan lereng dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$LS = \left(\frac{L}{22}\right)^2 (0,006541S^2 + 0,04565S + 0,065) \quad (2-14)$$

dimana :

L= panjang lereng (m) yang diukur dari tempat mulai terjadinya aliran air di atas permukaan tanah sampai tempat mulai terjadinya pengendapan disebabkan oleh berkurangnya kecuraman lereng atau dari tempat aliran air di permukaan tanah masuk ke badan air/saluran.

S = kemiringan lereng (%)

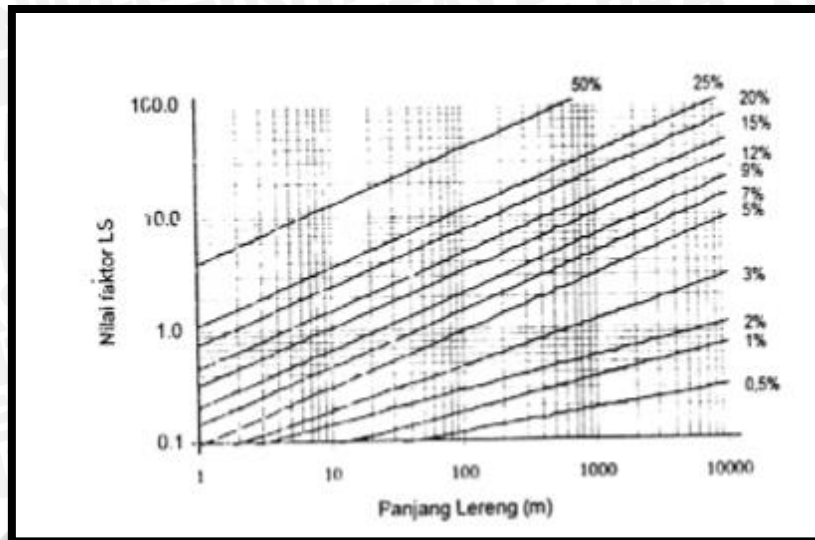
z = konstanta yang besarnya bervariasi tergantung besarnya S (lihat Tabel 2.7)

Tabel 2.7 Hubungan nilai z dan S

Nilai S	Nilai z
S < 1%	0,2
1% ≤ S < 3%	0,3
3% ≤ S < 4,5%	0,4
S ≥ 5%	0,5

Sumber : Suripin (2002)

Faktor LS dapat juga diperoleh dengan menggunakan nomograf seperti terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Nomograf untuk menghitung faktor LS

Sumber: Suripin(2002:77)

c.Faktor Tanaman (C)

Faktor tanaman (C) adalah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan yang ditanami suatu jenis tanaman terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih (Arsyad, 1989:366). Kemampuan tanaman untuk menutup tanah, sehingga menghampiri laju erosi, akan mempengaruhi besar kecilnya nilai C .

Dari berbagai hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah Bogor terhadap beberapa daerah di Jawa, nilai faktor C untuk berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman dapat dilihat pada table berikut sebagai perkiraan. Pada penelitian ini, pengelolaan tanaman, pemilihan bibit, pengolahan tanah, waktu tanam dan pemeliharannya semuanya sesuai anjuran Dinas Pertanian.

Tabel 2.8 Nilai faktor *C* untuk berbagai jenis tanaman dan pengelolaan tanaman.

Jenis Tanaman/Tata Guna Lahan	Nilai <i>C</i>
Tanaman rumput (<i>Brancharia</i> sp.)	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	1,000
Tanaman kentang ditanam searah kontur	0,350
Pola tanam tumpang gilir (jagung+padi+ubi kayu setelah panen ditanami kacang tanah) + mulsa jerami (6 ton/ha/th)	0,079
Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanaman	0,347
Pola tanam tumpang berurutan (padi-jagung-kacang tanah)	0,398
Pola tanam tumpang gilir + mulsa sisa tanaman	0,357
Kebun campuran	0,200
Ladang 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 seresah	1,000
Pohon tanpa semak	0,320
Tegalan tidak dispesifikasi	0,700
Kacang tanah	0,200
Tebu	0,200
Pisang	0,600
Rumput bede (tahun pertama)	0,287
Rumput bede (tahun kedua)	0,002
Kopi dengan penutup tanah buruk	0,200
Talas	0,850
Kebun campuran : - kerapatan tinggi	0,100
- kerapatan sedang	0,200
- kerapatan rendah	0,500
hutan alam seresah kurang	0,005
hutan produksi : - tebang habis	0,500
- tebang pilih	0,200
Semak belukar / padang rumput	0,300
Ubi kayu + kedelai	0,181

Ubi kayu + kacang tanah	0,195
Padi – kedelai	0,417
Kacang tanah + gude	0,495
Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049
Padi + mulsa jerami 4 ton/ha	0,096
Kacang tanah + mulsa jagung 4 ton/ha	0,128
Kacang tanah + mulsa Crotalaria 3 ton/ha	0,136

Sumber : Asdak, 2004:373 dan Arsyad, 1989:368

d.Faktor Pengelolaan Tanah (*P*)

Faktor *P* adalah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Tingkat erosi yang terjadi sebagai akibat pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (*P*) bervariasi, terutama tergantung pada kemiringan lereng (Asdak, 2004:374). Beberapa nilai *P* disajikan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.9. Nilai faktor *P* pada berbagai aktivitas konservasi tanah di Jawa

Teknik Konservasi Tanah	Nilai <i>P</i>
1. Teras :	
a. Konstruksi baik	0,04
b. Konstruksi sedang	0,15
c. Konstruksi kurang baik	0,35
d. Teras tradisional	0,40
2. Strip tanaman rumput Bahia	0,40
3. Pengolahan tanah dan penanaman menurut garis kontur :	
a. Kemiringan 0 – 8%	0,50
b. Kemiringan 9 – 20%	0,75
c. Kemiringan > 20%	0,90
4. Tanpa tindakan konservasi	1,00

Sumber : Asdak, 2004:375

2.6. Sedimentasi

Sedimentasi adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap dibagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk (Asdak, 2004:392). Dari proses

sedimentasi, hanya sebagian aliran sedimen di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedangkan yang lain mengendap di lokasi tertentu dari sungai.

Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi baik yang terjadi di sungai ataupun di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. *Sediment yield* biasanya sedimen yang berasal dari pengangkutan sedimen terlarut dalam sungai (*suspended load*) atau dengan pengukuran langsung di waduk.

Laju erosi dapat ditentukan dengan monitoring sedimentasi hanya secara jangka panjang. Angkutan sedimen di sungai yang dimonitor dengan pengukuran jangka panjang akan memberikan efek nyata dari kegiatan pengelolaan suatu DAS.

2.7. Sistem informasi geografis (SIG)

2.7.1. Definisi sistem informasi geografis (SIG)

SIG adalah sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan spasial dan mampu mengintegrasikan deskripsi-deskripsi lokasi dengan karakteristik-karakteristik fenomena yang ditemukan di lokasi tersebut. SIG yang lengkap mencakup metodologi dan teknologi yang diperlukan, yaitu data spasial perangkat keras, perangkat lunak dan struktur organisasi (Gistut, 1994).

Sistem Informasi Geografis (bahasa Inggris: *Geographic Information System* disingkat GIS) adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial (berreferensi keruangan). Atau dalam arti yang lebih sempit, adalah sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi berreferensi geografis, misalnya data yang diidentifikasi menurut lokasinya, dalam sebuah database. Para praktisi juga memasukkan orang yang membangun dan mengoperasikannya dan data sebagai bagian dari sistem ini.

Teknologi Sistem Informasi Geografis dapat digunakan untuk investigasi ilmiah, pengelolaan sumber daya, perencanaan pembangunan, kartografi dan perencanaan rute. Misalnya, SIG bisa membantu perencana untuk secara cepat menghitung waktu tanggap

darurat saat terjadi bencana alam, atau SIG dapat digunakan untuk mencari lahan basah (*wetlands*) yang membutuhkan perlindungan dari polusi.

2.7.2. Komponen sistem informasi geografis

Komponen-komponen pendukung SIG terdiri dari lima komponen yang bekerja secara terintegrasi yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data, manusia, dan metode yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Perangkat Keras (*hardware*)

Perangkat keras SIG adalah perangkat-perangkat fisik yang merupakan bagian dari sistem komputer yang mendukung analisis geografi dan pemetaan. Perangkat keras SIG mempunyai kemampuan untuk menyajikan citra dengan resolusi dan kecepatan yang tinggi serta mendukung operasi-operasi basis data dengan volume data yang besar secara cepat. Perangkat keras SIG terdiri dari beberapa bagian untuk menginput data, mengolah data, dan mencetak hasil proses. Berikut ini pembagian berdasarkan proses :

- Input data: *mouse, digitizer, scanner*
- Olah data: *harddisk, processor, RAM, VGA Card*
- Output data: *plotter, printer, screening.*

2. Perangkat Lunak (*software*)

Perangkat lunak digunakan untuk melakukan proses menyimpan, menganalisa, memvisualkan data-data baik data spasial maupun non-spasial. Perangkat lunak yang harus terdapat dalam komponen software SIG adalah:

- Alat untuk memasukkan dan memanipulasi data SIG
- *Data Base Management System (DBMS)*
- Alat untuk menganalisa data-data
- Alat untuk menampilkan data dan hasil analisa

3. Data

Pada prinsipnya terdapat dua jenis data untuk mendukung SIG yaitu :

- Data Spasial

Data spasial adalah gambaran nyata suatu wilayah yang terdapat di permukaan bumi. Umumnya direpresentasikan berupa grafik, peta, gambar

dengan format digital dan disimpan dalam bentuk koordinat x,y (vektor) atau dalam bentuk image (raster) yang memiliki nilai tertentu.

- Data Non Spasial (Atribut)

Data non spasial adalah data berbentuk tabel dimana tabel tersebut berisi informasi- informasi yang dimiliki oleh obyek dalam data spasial. Data tersebut berbentuk data tabular yang saling terintegrasi dengan data spasial yang ada.

4. Manusia

Manusia merupakan inti elemen dari SIG karena manusia adalah perencana dan pengguna dari SIG. Pengguna SIG mempunyai tingkatan seperti pada sistem informasi lainnya, dari tingkat spesialis teknis yang mendesain dan mengelola sistem sampai pada pengguna yang menggunakan SIG untuk membantu pekerjaannya sehari-hari.

5. Metode

Metode yang digunakan dalam SIG akan berbeda untuk setiap permasalahan. SIG yang baik tergantung pada aspek desain dan aspek *realnya*.

2.7.3. Struktur data dalam sistem informasi geografis (SIG)

Struktur data yang digunakan sebagai representasi dari kondisi asli kenampakan objek di dalam pengolahan *data base* SIG dibagi dalam dua kelompok jenis data spasial yaitu basis data dalam struktur vektor dan basis data dalam struktur *grid/raster*.

Representasi dari struktur data vektor adalah mengasumsikan dunia nyata (*real world*) dalam bentuk objek (*entity*) yaitu: titik (*point*), garis (*line*) dan area (*polyghon*). Struktur data vektor ini memandang objek-objek data tersebut sebagai model data diskrit, atau dengan kata lain semua objek tersebut dianggap mendefinisikan batas-batas fisiknya secara jelas. Kelemahan dari struktur data vector ini adalah apabila harus merepresentasikan nilai-nilai yang eksak dari variabel ketinggian yang diukur secara eksak pula dari permukaan bumi misalnya jenis tanah, densitas penduduk, suhu, curah hujan atau jenis batuan (*geologi*).

Basis data spasial dari SIG untuk merepresentasikan objek yang tidak dapat terwakili oleh data dalam struktur vector adalah dengan merepresentasikan objek kedalam model data

grid/raster. Model data *raster/grid* ini adalah untuk merepresentasikan objek-objek yang tidak mempunyai batas fisik yang jelas atau dengan kata kata lain adalah untuk mewakili objek-objek yang mempunyai nilai-nilai menerus (*continuous*) atau tersebar (*distributed*). Model data ini merepresentasikan objek dlam bentuk piksel-piksel matrik dengan ukuran tertentu sehingga kualitas hasilnya akan bergantung pada ukuran sel/resolusi yang digunakan. Berbagai aplikasi yang sering memanfaatkan struktur data dalam bentuk *grid* antara lain adalah representasi kondisi elevasi (*DEM*), kemiringan (*slope*), atau juga sebaran dari distribusi curah hujan.

2.8. Penginderaan jauh dan citra satelit

Teknologi penginderaan jauh satelit merupakan penginderaan jauh non fotografik, yang merupakan pengembangan dari penginderaan jauh fotografik atau fotogrametri. Sistem penginderaan jauh dimulai dari perekaman obyek bumi. Tenaga dalam penginderaan jauh merupakan tenaga penghubung yang membawa data tentang obyek ke sensor dapat berupa bunyi, daya magnetik, daya berat, dan daya elektromagnetik, namun tenaga yang digunakan dalam penginderaan jauh untuk mengindera bumi adalah tenaga elektromagnetik. Tenaga elektromagnetik bagi sistem pasif berasal dari matahari, perjalanan tenaga radiasi matahari melalui atmosfer, dan berinteraksi dengan benda di permukaan bumi. Tenaga radiasi matahari tidak semua sampai ke permukaan bumi karena sebagian diserap, dihamburkan di atmosfer. Tenaga yang sampai ke permukaan bumi sabagian dipantulkan dan atau dipancarkan oleh permukaan bumi, dan direkam oleh sensor penginderaan jauh. Sensor tersebut dapat dipasang dalam wahana pesawat terbang maupun satelit. Sensor satelit merekam permukaan bumi, dikirim ke stasiun penerima data di bumi.

Hasil perekaman atau sensor penginderaan jauh disebut data penginderaan jauh yang dapat berwujud foto udara, citra satelit, citra radar, dan dapat berupa analog dan numerik lainnya. Citra penginderaan jauh merupakan gambaran yang mirip dengan wujud aslinya atau paling tidak berupa gambaran planimetriknya, bersifat multiguna atau multi-disiplin.

2.8.1. Citra penginderaan jauh satelit

Setiap satelit penginderaan jauh yang diluncurkan akan menghasilkan data permukaan bumi. Beberapa jenis data citra satelit yang memiliki resolusi menengah dan resolusi tinggi, yaitu NOAA, MODIS, Landsat, SPOT, IKONOS, Quickbird, ALOS. Karakteristik setiap data penginderaan jauh khususnya data penginderaan jauh khususnya data penginderaan jauh satelit perlu diketahui agar pemanfaatan data dapat dilakukan dengan efisien dan efektif. Karakteristik data penginderaan jauh satelit meliputi:

1. Karakteristik atau resolusi spasial yaitu ukuran obyek terkecil yang tersebut dapat terdeteksi atau jarak minimum dua obyek tersebut dapat terdeteksi terpisah oleh sensor. Contoh resolusi spasial adalah data Landsat ETM mempunyai resolusi spasial 30 meter pada sensor multispektralnya dan 15 meter pada sensor pankromatiknya.
2. Lebar sapuan (*Swath Widht*) yaitu lebar permukaan bumi yang diindera secara sekaligus pada satu saat penginderaan. Contoh lebar sapuan data Landsat adalah 185 km sehingga secara *scene* standarnya 185 x 185 km. Lebar sapuan data SPOT adalah 60 km, sedangkan lebar sapuan data NOAA adalah 2300 km.
3. Karakteristik atau resolusi *spectral* yaitu jumlah kanal *spectral* dan makin sempitnya tiap-tiap kanal *spectral* tersebut. Contoh data Landsat ETM mempunyai tujuh kanal *spectral* dan satu kanal pankromatik, data SPOT 4 dan 5 mempunyai empat kanal (*band*) *spectral* dan satu pankromatik.
4. Resolusi temporal yaitu periode waktu (standar) satelit kembali berada diatas tempat yang sama di bumi. Contoh resolusi temporal data landsat 7 adalah 16 hari, data SPOT periode ulang 26 hari (standar), data NOAA empat kali dalam sehari.
5. Resolusi radiometric dari datanya, pada umumnya adalah 8 bt, atau berjenjang dari tingkat 0 sampai tingkat 255. Namun data kanal thermal satelit NOAA adalah 10 bit y.i. dari 0 sampai 1024 dan data radar biasanya 16 bit.

2.8.2. Data landsat

Landsat (*Land Satelite*) merupakan contoh satelit sumberdaya milik Amerika Serikat yang diluncurkan sejak tahun 1972. Landsat yang sudah mengorbit saat ini adalah Landsat generasi ke tujuh (Landsat 7). Landsat 7 dengan sensor ETM+ (*Edvanded Thematic Mapper plus*),

yang diluncurkan bulan April 1999 ternyata hanya beroperasi secara normal hingga bulan Mei 2003. Satelit tersebut telah mengalami kerusakan pada *Scan Line Corrector* (SLC), sehingga untuk sementara transmisi data satelit dihentikan.

Terdapat banyak aplikasi dari data Landsat TM (*Thematic Mapper*): pemetaan penutupan lahan, pemetaan penggunaan lahan, pemetaan tanah, pemetaan geologi, pemetaan suhu permukaan laut dan lain-lain. Untuk pemetaan penutupan dan penggunaan lahan data Landsat TM lebih dipilih daripada data SPOT multispectral karena terdapat band infra merah menengah. Landsat TM adalah satu-satunya satelit non-meteorologi yang mempunyai band inframerah termal.

2.8.3. Interpretasi citra digital

Menurut Este & Simonett (1975), Interpretasi citra merupakan perbuatan mengkaji foto udara atau citra dengan maksud untuk mengidentifikasi objek dan menilai arti pentingnya objek tersebut.

2.8.3.1. Koreksi geometrik

Geometrik merupakan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Kesalahan geometri citra dapat terjadi karena posisi dan orbit maupun sikap sensor pada saat satelit mengindera bumi, kelengkungan dan putaran bumi serta adanya relief atau ketinggian yang berbeda dari permukaan bumi yang diindera. Akibat dari kesalahan geometrik ini maka posisi piksel dari data indera satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi (lintang dan bujur) yang sesuai.

Terdapat istilah-istilah yang digunakan untuk mengatasi distorsi geometrik pada citra, diantaranya yaitu (Prahasta, 2008:155):

1. Rektifikasi, proses mentransformasikan geometri (unsure-unsur spasial) citra digital sedemikian rupa sehingga setiap pikselnya memiliki posisi di dalam system koordinat dunia nyata.

2. Ortorektifikasi, merujuk pada tipe rektifikasi yang lebih akurat dari pada rektifikasi biasa karena prosesnya juga mempertimbangkan beberapa karakteristik sensor (kamera) dan *platform* (satelit atau pesawat terbang) yang digunakan.
3. Registrasi, proses yang dilakukan untuk menyesuaikan/menyamakan bentuk (*aligning*) dua citra digital hingga satu sama lainnya dapat dioverlaykan untuk kemudian dibandingkan.
4. Rotasi, proses memutar orientasi sebuah citra.
5. *Rprojection*, proses yang dilakukan untuk mentransformasikan citra dari suatu datum dan system proyeksi peta ke datum dan system proyeksi peta yang lain.

2.8.3.2. Koreksi radiometrik

Radiometrik berhubungan dengan kekuatan sinyal, kondisi atmosfer (hamburan, serapan, dan tutupan awan), dan saluran spectral yang digunakan dalam perekaman data penginderaan jauh, sehingga hal ini mempengaruhi kualitas citra digital. Kesalahan radiometric atau cacat radiometrik, yaitu kesalahan yang berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (*pixel*) pada citra. Secara umum koreksi radiometric dapat dibedakan dalam tiga tipe berikut (Prahasta, 2008:174):

1. Koreksi radiometrik yang disebabkan oleh kondisi atmosfer. Akibat berbagai kondisi atmosfer yang menyebabkan penyerapan dan hamburan radiasi sinar matahari. Oleh karena itu, radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek *path-radiance* (hamburan atmosfer) perlu dikoreksi.
2. Koreksi radiometrik yang disebabkan oleh sudut (azimuth dan ketinggian) matahari dan topografi. Radiasi sinar matahari direfleksikan dan disebarkan ke permukaan bumi, dengan adanya perbedaan sudut ini, terdapat area-area yang nampak lebih terang.
3. Koreksi radiometrik yang disebabkan oleh sensitivitas sensornya. Jika sensor yang digunakan dari jenis optis, maka area-area yang terletak dipinggir citra cenderung bernuansa agak gelap jika dibandingkan dengan area-area yang terletak ditengah citra.

2.8.4. Pembuatan citra komposit

Citra penginderaan jauh *multispectral* dan multi temporal setelah dikeroksi, yaitu koreksi radiometric dan koreksi geometric, maka dilakukan interpretasi atau klasifikasi. Namun sebelum dilakukan interpretasi baik secara manual maupun digital perlu dibuat kompositnya, yaitu untuk menguji apakah posisi setiap koordinat sudah sama karena koreksi radiometrik maupun geometrik dilakukan secara sendiri-sendiri.

a. Registrasi citra

Registrasi citra merupakan proses untuk membuat posisi lokasi dari setiap *pixel* pada beberapa citra saling cocok (sesuai) satu sama lain. Registrasi citra multispektral, citra multi temporal, dan antara citra dengan peta. Penyesuaian posisi lokasi titik-titik *pixel* dari suatu citra dalam basis koordinat peta (koordinat lintang dan bujur) disebut *geocoding*.

b. Resampling atau fusi citra

Resampling atau *fussy* citra merupakan suatu proses transformasi citra dengan cara memberikan nilai *pixel* citra terkoreksi. Pelaksanaan resampling dilakukan dengan proses transformasi dari suatu system koordinat ke system koordinat yang lain. Tiga tahap prosedur proses resampling dengan operasi matrik yaitu:

1. Secara geometric seragam ditentukan berdasarkan koordinat medan.
2. Transformasi dengan koordinat setiap *pixel* sesuai rangkaian citra.
3. Nilai *pixel* yang sesuai dipindahkan dari rangkaian data citra ke matrik keluaran.

2.8.5. Penajaman citra

Penajaman citra bertujuan untuk meningkatkan mutu citra, untuk memperoleh keindahan gambar, dan untuk kepentingan analisis citra. Penajaman citra dilakukan sebelum interpretasi manual, untuk analisis kuantitatif. Tiga jenis penajaman citra, yaitu:

1. Penajaman kontras spectral citra, penajaman yang berhubungan dengan tingkat keabuan/warna citra dapat dilakukan dengan manipulasi kontras citra berupa *gray-level thresholding*, *level slicing* dan *contrast stretching*.
2. Penajaman kenampakan secara spasial, dilakukan dengan cara manipulasi spasial berupa *spatial filtering*, *edge enhancement*, *fourier analysis*.
3. Penajaman citra jamak atau multi citra dapat dilakukan dengan manipulasi citra jamak berupa *multispectral rationing*, *principal component*, *canocinal components*, *vegetation component*, *intensity-hue-situration (IHS) color space transformation*, dan *decorrelaton stretching*.

2.8.6. Klasifikasi citra

Klasifikasi citra digital bertujuan untuk identifikasi kenampakan *spectral* obyek dapat dilakukan dengan pola *spectral*. Pola obyek yang dimaksud dalam penginderaan jauh adalah susunan keruangan, merupakan cirri (karakteristik), yang menandai berbagai obyek (bentukan manusia atau artificial dan alamiah). Tujuan pengenalan pola (*pattern recognition*) secara teknik untuk mengklasifikasi dan mendeskripsikan pola atau susunan obyek melalui sifat atau cirri obyek, berdasarkan karakteristik *spectral* yang terekam pada citra.

Pengenalan pola spectral sebagai dasar interpretasi citra digital, menggunakan dasar pola tanggapan *spectral* setiap obyek di permukaan bumi. Klasifikasi citra secara digital bertujuan untuk melakukan kategorisasi secara otomatis dari semua *pixel* citra kedalam kelas penutup lahan atau suatu tema tertentu.

a. *Supervised classification*

Klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dilakukan ketika kita sudah melakukan survey lapangan. Artinya kita sudah mengetahui *landcover* dari *training area* yang kita buat. *Training area* merupakan sampel kelas yang sudah kita ketahui di lapangan.

b. *Unsupervised classification*

Klasifikasi tak terbimbing (*unsupervised classification*) merupakan salah satu metode klasifikasi dimana komputer secara otomatis menghitung dan mengenali nilai *spectral* yang ada pada citra.

2.9. Program arcSWAT (*Arc Soil Water Assesment Tool*)

ArcSWAT adalah sebuah *software* yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) ArcGIS 10.1 (ESRI) sebagai ekstensi (*graphical user interface*) di dalamnya. Program ini dikeluarkan oleh *Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA*. ArcGIS sendiri adalah salah satu dari sekian banyak program yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).

Program ArcSWAT merupakan perkembangan dari AVSWAT, SWAT (*Soil and Water Assesment Tool*) sendiri adalah model DAS yang digunakan untuk mensimulasikan kualitas dan kuantitas dan air permukaan dan air tanah, dan memprediksi akibat lingkungan dari tata guna lahan, praktek manajemen lahan dan perubahan iklim. SWAT digunakan secara luas dalam penilaian dan pengontrolan pencegahan erosi tanah dan manajemen wilayah dalam DAS.

ArcSWAT 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 didalamnya jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen kondisi lahan secara periodik. Untuk tujuan pemodelan, program ArcSWAT memudahkan pengguna 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 dalamnya pengolahan database, ArcSWAT dibagi dalam 2 kelompok data base: jenis data spasial yaitu basis data dalam struktur vektor dan basis data dalam struktur *grid/raster*.

2.9.1. Pengolahan basis data

Pembangunan basis data merupakan suatu proses untuk memperoleh data masukan ArcSWAT. Hasil keluaran dari pembangunan basis data adalah peta dalam bentuk raster. Data raster merupakan data dimana semua obyek disajikan pada kolom dan baris dalam bentuk sel mewakili suatu areal yang berbentuk bujur sangkar, memiliki koordinat dan informasi

(atribut keruangan dan waktu). Informasi inilah yang nantinya digunakan menjadi *input* atau masukan data untuk model ArcSWAT. Tahap pembangunan basis data terdiri dari 3 kegiatan yaitu pembuatan peta penggunaan lahan, pembuatan DEM dan kemiringan lahan serta pembuatan peta jenis tanah.

2.9.2. Input Data ArcSWAT

ArcSWAT membutuhkan informasi-informasi mengenai komponen-komponen suatu DAS antara lain hujan yang terjadi di DAS, tata guna lahan, jenis tanah, dsb. Informasi-informasi itu dihimpun dalam basis data masukan yang disebut input data.

Input data masukan aplikasi ArcSWAT terdiri dari data hujan/data iklim, penggunaan lahan, jenis tanah dan karakteristik saluran atau sungai. Data atribut diatur dan diolah berdasarkan format masukan data dalam ArcSWAT.

a) Data Iklim

Data Iklim yang merupakan masukan dalam ArcSWAT adalah curah hujan, temperatur udara maksimum harian rerata bulanan (TMPX) dan temperatur udara minimum harian rerata bulanan (TMPMN), simpangan baku suhu udara maksimum dan minimum bulanan (TMPSTDMX dan TMPSTDMN), radiasi sinar matahari harian (SOLARAV) kecepatan angin harian rerata bulanan (WNDAY), data-data tersebut dikumpulkan dalam *file* WGN. Data yang digunakan berasal dari pengukuran stasiun BMKG dan harus diketahui letak koordinat dan elevasi.

b) Data Penggunaan Lahan

Penilaian parameter masing-masing penggunaan lahan diperoleh dari data sekunder buku manual ArcSWAT. Parameter penggunaan lahan terdiri dari Faktor Pengelolaan Tanaman (C).

c) Data Jenis Tanah

Masukan data tanah terdiri dari simbol, nama atau nomor jenis tanah, sedangkan masukan untuk parameter tanah yang diamati sebagian besar adalah sifat fisik tanah. Data parameter tanah yang dibutuhkan untuk input aplikasi ArcSWAT

terdiri dari grup hidrologi (HYDGRP), kedalaman efektif (SOL_ZMX), kedalaman tiap horizon tanah (SOL_Z), berat isi tanah (SOL_BD), Available water capacity (SOL_AWC), permeabilitas (SOL_K), C-organik (SOL_CBN) presentase liat (CLAY), presentase debu (SILT), presentase pasir (SAND), fraksi batuan (ROCK), albedo tanah (SOL_ALB), dan erodibilitas tanah (USLE_K). Semua parameter tersebut diisi pada tiap horizon/lapisan tanah.

Perhitungan nilai K_{usle} , Wischmeier et al.(1978) mengembangkan persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah sebagai berikut :

$$K_{usle} = \frac{0,0021.M^{1,14}(12-OM)+3.25.(C_{soilstr}-2)+2.5.(C_{perm}-3)}{100} \quad (2-18)$$

dimana :

K_{usle} = faktor erodibilitas tanah

M = presentase ukuran partikel (% debu + pasir halus)

OM = presentase unsur organik

$C_{soilstr}$ = kode klasifikasi struktur tanah

C_{perm} = permeabilitas tanah

Perhitungan nilai M dan OM dirumuskan sebagai berikut :

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \quad (2-19)$$

$$OM = 1.72 \text{ orgC} \quad (2-20)$$

dimana :

m_{silt} = merupakan presentase debu

m_{vfs} = presentase pasir sangat halus

orgC = presentase carbon organic

d) Karakteristik Saluran atau Sungai

Karakteristik sungai terdiri dari jumlah sungai atau saluran, lebar masing-masing saluran dan koefisien kekasaran saluran. Jumlah sungai atau saluran diketahui dari peta sungai, sedangkan lebar sungai dan nilai koefisien sungai diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan. Angka kekasaran *Manning* di anak sungai dimasukkan melalui menu *interface* “*Write Subbasin General Data (sub)*” pada *toolbar input*, sedangkan kekasaran *Manning* di sungai utama dimasukkan melalui menu “*Write Main Channel Data (rte)*”.

Tabel 2.10 Karakteristik saluran terbuka untuk menentukan nilai kekasaran manning berdasarkan Cow (1959)

No	Karakteristik Saluran	Nilai Kekasaran Manning	
		Rata-rata	Range
1	Sudah dikeruk atau digali		
	a)Terpelihara, lurus dan seragam	0,025	0,016-0,023
	b)Terpelihara, berkelok dan tidak seragam	0,035	0,023-0,05
	c) Tidak terpelihara dan banyak tanaman liar	0,075	0,04-0,14
2	a)Sedikit tanaman dan berbatu	0,05	0,025-0,065
	b)Banyak pohon dan berbatu	0,1	0,05-0,15

Sumber : Neitsch et al., 2005

2.9.3.Pembangunan model hidrologi pada aplikasi ArcSWAT

Analisis hidrologi DAS Rejoso dilakukan dengan bantuan *ArcSWAT*. Pada analisis hidrologi ini disediakan data sebagai *input* dalam model *ArcSWAT* adalah data tanah, data penggunaan lahan dan data iklim.

a) Deliniasi Areal Penelitian

Deliniasi area penelitian merupakan langkah awal dalam menjalankan *ArcSWAT*. Deliniasi daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan data DEM. Dalam *ArcSWAT*, daerah penelitian termasuk jaringan hidrologi dapat dideliniasi otomatis. Pada tahap ini DAS akan dibagi menjadi beberapa sub-basin dan ditentukan juga ukuran *threshold* dalam km². Selain itu, ditentukan juga posisi outlet sungai sebagai akhir dari aliran sungai.

Untuk melakukan deliniasi dibutuhkan peta DAS dan DEM ukuran 12,5 m x 12,5 m. Sebelum melakukan kegiatan *watershed delineation* pada ArcSWAT semua peta harus pada satuan yang sama seperti UTM dan *watershed delineation* harus telah di plugin ke program ArcSWAT. *Output* dari tahap ini adalah bentuk aliran sungai menuju *outlet* dan batas dari beberapa sub-basin. Sub-basin terbentuk dari batas-batas yang dipengaruhi oleh bentuk topografi pada wilayah tersebut.

b) Pembentukan *Hidrologi Respons Unit* (HRU)

HRU merupakan unit analisis hidrologi yang mempunyai karakteristik tanah dan penggunaan lahan yang spesifik, sehingga dapat dipisahkan antara satu HRU dengan lainnya. HRU diperoleh melalui overlay peta kemiringan lahan, peta tanah dan peta penggunaan lahan yang ketiganya telah di *reprojected*. HRU yang terbentuk oleh model dengan menggunakan metode *threshold by percentage*, untuk penggunaan lahan, jenis tanah serta kemiringan lereng menggunakan *threshold 0%*.

c) Pembangkit Data Iklim

Data WGN dibangun oleh data curah hujan, temperatur, kecepatan angin, radiasi matahari dalam kurun waktu 10 tahun (2005-2014). Data iklim digunakan untuk membangun generator cuaca. WGN berfungsi untuk mengisi kekosongan data curah hujan yang digunakan pada masing-masing penakar hujan.

d) Simulasi

Proses simulasi dijalankan setelah proses penggabungan HRU dengan data iklim selesai dilakukan. Simulasi hidrologi dijalankan berdasarkan periode harian. Persamaan yang digunakan dalam SWAT untuk memprediksi aliran permukaan adalah metode *SCS Curve Number*.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (2-21)$$

dimana :

Q_{surf} = jumlah aliran permukaan pada hari I (mm).

R_{day} = jumlah curah hujan pada hari ke I (mm).

I_a = kehilangan akibat resapan permukaan, intersepsi dan infiltrasi.

S= parameter retensi (mm)

Parameter retensi dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2-22)$$

dimana :

CN= bilangan kurva (*curve number*)

CN diturunkan dari analisis spasial dimana peta tanah dikonversi menjadi *Hydrology Soil Group* dan di overlay dengan peta penutupan lahan masing-masing tahun. CN digunakan untuk memprediksi nilai *runoff* atau infiltrasi dan Ia adalah 0.2 S (berdasarkan hasil penelitian), sehingga persamaan perhitungan aliran menjadi:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2 S)^2}{(R_{day} - 0,8 S)} \quad (2-23)$$

Aliran bawah tanah atau base flow (Q_{gw}) dihitung dari persamaan :

$$Q_{gw} = \frac{8000 \cdot K_{sat}}{L^2_{gw}} x h_{wtbl} \quad (2-24)$$

Dimana K_{sat} adalah *hydraulic conductivity* (mm/hari). L^2_{gw} adalah jarak sub DAS ke saluran utama (m) dan h_{wtbl} adalah tinggi muka air tanah (m).

Perhitungan debit puncak limpasan menggunakan modifikasi metode rasional dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_{peak} = \frac{C \cdot I \cdot Area}{3,6} \quad (2-25)$$

dimana :

q_{peak} = debit puncak limpasan (m^3/dtk)

I = intensitas hujan (mm/jam)

Area = luas sub DAS (km^2)

C= koefisien aliran

3,6= faktor konversi

Perhitungan erosi dan sedimentasi dalam SWAT adalah sebagai berikut :

$$\text{Sed} = 11,8 (Q_{\text{surf}} \cdot q_{\text{peak}} \cdot \text{Area}_{\text{hru}})^{0,56} \cdot K_{\text{usle}} \cdot C_{\text{usle}} \cdot P_{\text{usle}} \cdot LS_{\text{usle}} \cdot \text{CRFG} \quad (2-26)$$

dimana :

Q_{surf} = jumlah aliran permukaan pada hari I (mm).

q_{peak} = debit puncak limpasan (m^3/dtk)

Area_{hru} = luas area *hru*, (km^2)

K_{usle} = faktor erodibilitas

C_{usle} = faktor vegetasi

P_{usle} = faktor konservasi tanah

LS_{usle} = faktor topografi

CRFG = faktor pecahan batuan kasar

e) Visualisasi hasil

Pada tahap ini, visualisasi hasil yang diinginkan dapat dilihat. Misalnya dengan memilih parameter *output* debit aliran bulanan atau sedimentasi bulanan/tahunan.

f) Kalibrasi

Kalibrasi dimaksudkan untuk melakukan proses pengecekan output dari ArcSWAT terhadap data-data yang tersedia di lapangan. Proses kalibrasi ini juga digunakan untuk mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter yang kita gunakan dengan nilai parameter yang sebenarnya di lapangan.

Prameter yang digunakan sebagai acuan dalam proses kalibrasi ini adalah nilai dari debit banjir pada outlet dari DAS daerah studi. Nilai debit banjir yang didapat dari pencatat AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) atau alat pencatat debit otomatis ini akan kita cek dengan nilai debit model yang dihasilkan oleh perhitungan ArcSWAT.

Berikut definisi masing-masing parameter:

- USLE_C** : Nilai minimum factor C USLE dari erosi air berlaku untuk penutup tanah/tanaman.
- SFTMP** : Suhu hujan salju ($^{\circ}\text{C}$). Rata-rata suhu udara dimana curah hujan sama dengan hujan salju. Rekomendasi standar untuk variabel ini adalah $\text{SFTMP}=1,0$.
- SMTMP** : Suhu dasar salju mencair ($^{\circ}\text{C}$). Suhu salju di atas ini akan membuat salju mencair. Rekomendasi standar untuk variabel ini adalah $\text{SMTMP}=0,50$.
- SMFMX** : Faktor salju meleleh pada 21 Juni ($\text{mm H}_2\text{O} / ^{\circ}\text{C-hari}$). Jika DAS berada di belahan bumi utara, SMFMX akan menjadi faktor meleleh maksimal. Jika DAS berada di belahan bumi selatan, SMFMX akan menjadi faktor meleleh minimum. SMFMX dan SMFM membuat tingkat salju mencair bervariasi sepanjang tahun. Variabel tersebut diperhitungkan untuk dampak kepadatan kumpulan salju saat mencair. Jika tidak ada nilai untuk SMFMX dimasukkan, model akan mendapatkan $\text{SMFMX}=4,5$.
- SMFMN** : Faktor salju mencair pada 21 Desember ($\text{mm H}_2\text{O} / ^{\circ}\text{C-hari}$). Jika DAS berada di belahan bumi utara, akan menjadi faktor meleleh minimum. Jika DAS berada di belahan bumi selatan, SMFMN akan menjadi faktor meleleh maksimal. SMFMX dan SMFMN memungkinkan tingkat salju mencari bervariasi sepanjang tahun. Variabel tersebut diperhitungkan untuk dampak kepadatan salju saat mencair. Jika tidak ada nilai untuk SMFMN dimasukkan, model akan menetapkan $\text{SMFMN}=4,5$.
- SPCON** : Parameter linear untuk menghitung jumlah sedimen maksimum yang tidak dimasukkan di saluran sedimen. SPCON harus antara 0,0001

dan 0,01. Jika tidak ada nilai untuk SPCON dimasukkan, model akan menetapkan $SPCON=0,0001$.

SPEXP : Parameter eksponen untuk menghitung sedimen yang tidak dimasukkan di saluran sedimen. SPEXP harus antara 1,0 dan 1,5. Jika tidak ada nilai untuk SPEXP dimasukkan, model akan menetapkan $SPEXP = 1,0$.

NPERCO : Koefisien Perkolasi Nitrat. NPERCO mengontrol jumlah nitrat yang dihilangkan dari limpasan relative lapisan permukaan melalui perkolasi. Nilai NPERCO dapat berkisar dari 0,01 sampai 1,0. Jika tidak ada nilai untuk NPERCO dimasukkan, model akan menetapkan $NPERCO=0,20$.

PPERCO : Koefisien Perkolasi Fosfor ($10 \text{ m}^3/\text{Mg}$). Koefisien perkolasi fosfor adalah rasio konsentrasi fosfor dalam 10 mm permukaan tanah dengan konsentrasi fosfor meresap. Nilai PPERCO dapat berkisar 10,0-17,5. Jika tidak ada nilai PPERCO dimasukkan, model akan menetapkan $PPERCO=10,0$.

SOL_ORGN : Nitrogen organik awal dalam lapisan tanah (mg/kg atau ppm)

SOL_NO₃ : Konsentrasi NO₃ awal dalam lapisan tanah (mg / kg atau ppm)

SOL_ORGP : Fosfor organik awal dalam lapisan tanah (mg / kg atau ppm)

ALPHA_BF : Aliran dasar alpha factor (hari). Aliran dasar alpha faktor, atau resesi konstan, ciri kurva resesi air tanah. Beberapa nomor konstan akan menjadi kurang dari 1,0 dan akan lebih besar (pendekatan satu) untuk resesi datar, dan kecil (mendekati nol) untuk resesi curam.

GWQN : Ambang kedalaman air di akuifer dangkal yang diperlukan saat arus balik terjadi (mm H₂O). Tanah mengalir ke jangkauan yang

dijinkan jika kedalaman air di akuifer dangkal sama dengan atau lebih besar dari GWQMN.

GW_REVAP : Koefisien Air Tanah “revap”. Variabel ini mengontrol jumlah air yang akan bergerak dari akuifer dangkal ke zona akar sebagai akibat dari penurunan kelembaban tanah dan jumlah serapan air langsung dari pohon-pohon yang berakar mendalam dan semak-semak. Seperti GW_REVAP mendekati 0, pergerakan air dari akuifer dangkal ke zona akar dibatasi. Seperti GW_REVAP mendekati 1, laju transfer dari akuifer dangkal ke zona akar mendekati laju evapotranspirasi potensial. Nilai untuk GW_REVAP harus antara 0,02 dan 0,20.

REVAPMN : Ambang kedalaman air di akuifer dangkal untuk “revap” atau perolasi yang terjadi ke dalam akuifer (mm H₂O). Gerakan air dari akuifer dangkal ke zona tak jenuh atau ke akuifer yang mendalam diperbolehkan hanya jika volume air di akuifer dangkal sama dengan atau lebih besar dari REVAPMN.

ESCO : Faktor Kompensasi Penguapan tanah. Faktor ini menyesuaikan distribusi kedalaman untuk penguapan dari tanah untuk memperhitungkan efek dari aksi kapiler, krusta dan retak. ESCO harus antara 0,01 dan 1,0. Jika tidak ada nilai untuk ESCO yang dimasukkan, model akan menetapkan ESCO = 0,95. Nilai untuk ESCO dapat ditetapkan pada tingkat DAS atau HRU.

SLSUBBSN : Rata-rata panjang kemiringan (m).

LERENG : Rata-rata kecuraman kemiringan (m/m).

TLAPS : Nilai kehilangan suhu (°C/km). Nilai positif menunjukkan peningkatan suhu dengan peningkatan ketinggian. Jika tidak ada nilai yang dimasukkan TLAPS, model set TLAPS = -6 °C/km. Nilai kehilangan tersebut digunakan untuk mengatur suhu untuk elevasi di

subbasin tersebut. Jika tidak ada band elevasi yang didefinisikan, suhu yang dihasilkan atau dibaca dari file. tmp digunakan untuk subbasin dengan adanya penyesuaian. Untuk menyesuaikan suhu, elevasi dari stasiun perekaman atau stasiun cuaca dibandingkan dengan elevasi yang ditentukan untuk band elevasi.

CH_COV : Faktor saluran penutup. CH_COV diatur untuk nilai antara 0,0 dan 1,0. Sebuah nilai dari 0,0 menunjukkan bahwa saluran tersebut benar-benar dilindungi dari degradasi oleh penutup, sementara nilai 1,0 mengindikasikan tidak ada tutupan vegetasi pada saluran.

CH_K : Konduktivitas hidrolik efektif dalam alluvium saluran utama (mm/jam).

CH_EROD : Faktor erodibilitas saluran. CH_EROD diatur untuk nilai antara 0,0 dan 1,0. Sebuah nilai 0,0 mengindikasikan saluran non erosi, sementara nilai 1,0 mengindikasikan tidak ada ketahanan terhadap erosi.

BIOM : Biomassa (metric ton/ha). Biomassa total, yaitu biomassa diatas tanah dan akar pada akhir periode waktu yang dilaporkan sebagai berat kering.

BIOMIX : Efisiensi pencampuran biologi. Pencampuran tanah akibat aktivitas cacing tanah dan biota tanah lainnya. Pencampuran dilakukan pada akhir setiap tahun kalender. Jika tidak ada nilai untuk BIOMIX dimasukkan, model akan menetapkan BIOMIX = 0,20.

CN2 : SCS limpasan awal kurva nomor kelembaban kondisi II. Jumlah kurva dapat diperbarui di pabrik, pengolahan tanah, dan panen/menghentikan operasi. Jika CNOP tidak pernah ditetapkan untuk operasi ini, set nilai mengandung nilai CNOP pertama. Maka model hanya menggunakan operasi nilai CNOP untuk menentukan

jumlah kurva kelembaban kondisi II. Nilai untuk CN2 dan CNOP harus dimasukkan untuk kondisi sebelumnya.

USLE_P : Faktor persamaan pendukung praktik USLE (P). Rasio kehilangan tanah dengan praktik dukungan seperti *contouring*, *stripcropping*, atau terasering itu dengan straight-baris pertanian atas dan ke bawah lereng.

SOL_AWC : Kapasitas air tersedia dari lapisan tanah (mm H₂O/mm tanah). Ini adalah volume air yang harus tersedia bagi tanaman jika tanah, termasuk fragmen batuan, pada kapasitas lapangan. Kapasitas air yang tersedia diperkirakan dengan menentukan jumlah air yang dirilis antara kapasitas lapangan situ (air tanah konten pada potensial tanah matrik dari -0,033 MPa) potensi matrik dari MPa -15).

Berdasarkan teori *Hydrologic Calibration*, jika hasil pemodelan hidrologi menunjukkan terlalu kecil *base flow* dan terlalu besar *surface runoff*, maka solusinya adalah sebagai berikut:

A. Langkah 1:

1. Menambah/mengurangi bilangan kurva larian (*curve number*) dalam file (*.mgf)
2. Menambah/mengurangi AWC (*available water capacity*) dalam file (*.sol)
3. Menambah/mengurangi factor 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).

B. Langkah 2:

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

C. Langkah 3:

Mengulang langkah 1 dan langkah 2 terus-menerus.

2.10. Output hasil simulasi ArcSWAT

Output ArcSWAT terangkum dalam *file-file output* yang terdiri dari *file* HRU, SUB dan RCH. *File* SUB informasi pada masing-masing Sub DAS, HRU berisikan informasi pada masing-masing HRU sedangkan RCH berisikan informasi pada masing-masing sungai utama dalam Sub-DAS. Informasi pada masing-masing sungai utama di dalam RCH adalah jumlah aliran yang masuk ke sungai (*FLOW_IN*) dan aliran keluar (*FLOW_OUT*).

Tabel 2.11 Data dalam *file* ArcSWAT

Nama file	Fungsi
SUB	Mengontrol keragaman parameter ditingkat sub DAS
HRU	Mengontrol keragaman parameter di tingkat HRU
RTE	<i>File</i> pergerakan air, sedimen, hara dan pestisida
CROP	<i>File</i> parameter tumbuh tanaman
URBAN	<i>File</i> data terbangun atau urban area
PCP	<i>File</i> data curah hujan harian
TMP	<i>File</i> temperature udara maksimum dan minimum harian
SLR	<i>File</i> radiasi matahari harian
HMD	<i>File</i> kelembapan udara harian
WGN	<i>File</i> data generator iklim
SOL	<i>File</i> data tanah
MGT	<i>File scenario</i> pengelolaan dan penutupan lahan

Sumber : Neitsch et al, 2004

2.11. Arahan penggunaan lahan

Arahan penggunaan lahan ditetapkan berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi yang adalah berkaitan dengan karakteristik fisik DAS berikut ini (Asdak, 2004:415):

1. Kemiringan lereng
2. Jenis tanah menurut kepekaannya terhadap erosi
3. Curah hujan harian rata – rata.

Untuk karakteristik DAS yang terdiri dari kemiringan lereng, jenis tanah dan curah hujan harian rata – rata pada setiap satuan lahan perlu diklasifikasi dan diberi bobot (skor) sebagai berikut:

Kemiringan lereng: Nilai skor:

Kelas 1: 0 – 8 % (datar) 20

Kelas 2: 8 – 15 % (landai) 40

Kelas 3: 15 – 25 % (agak curam) 60

Kelas 4: 25 – 45 % (curam) 80

Kelas 5: ≥ 45 % (sangat curam) 100

Tanah menurut kepekaannya terhadap erosi: Nilai skor:

Kelas 1: Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik (tidak peka) 15

Kelas 2: Latosol (agak peka) 30

Kelas 3: Tanah hutan coklat, tanah medeteran (kepekaan sedang) 45

Kelas 4: Andosol, Laterik, Grumusol, Podsol, Podsollic (peka) 60

Kelas 5: Regosol, Litosol, Organosol, Renzina (sangat peka) 75

<u>Intensitas hujan harian rata – rata:</u>	Nilai skor:
Kelas 1: $\leq 13,6$ mm/hari (sangat rendah)	10
Kelas 2: 13,6 – 20,7 mm/hari (rendah)	20
Kelas 3: 20,7 – 27,7 mm/hari (sedang)	30
Kelas 4: 27,7 – 34,8 mm/hari (tinggi)	40
Kelas 5: $\geq 34,8$ mm/hari (sangat tinggi)	50

Penetapan penggunaan lahan setiap satuan lahan ke dalam suatu kawasan fungsional dilakukan dengan menjumlahkan nilai skor ketiga faktor tersebut di atas dengan mempertimbangkan keadaan setempat. Dengan cara demikian, dapat dihasilkan kawasan lindung, kawasan penyangga, dan kawasan budidaya. Berikut ini adalah kriteria yang digunakan oleh BRLKT (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah, Departemen Kehutanan) untuk menentukan status kawasan berdasarkan fungsinya:

1. Kawasan lindung

Satuan lahan dengan jumlah skor ketiga faktor fisiknya sama dengan atau lebih besar dari 175.

2. Kawasan penyangga

Satuan lahan dengan jumlah skor ketiga faktor fisik antara 125 – 174.

3. Kawasan budidaya tanaman tahunan

Satuan lahan dengan jumlah skor ketiga faktor fisik ≤ 124 serta sesuai untuk dikembangkan usaha tani tanaman tahunan (tanaman perkebunan, tanaman industri). Selain itu, areal tersebut harus memenuhi kriteria umum untuk kawasan penyangga.

4. Kawasan budidaya tanaman semusim

Satuan lahan dengan kriteria seperti dalam penetapan kawasan budidaya tanaman tahunan serta terletak di tanah milik, tanah adat, dan tanah negara yang seharusnya dikembangkan usaha tani tanaman semusim.

