

**KAJIAN MODEL ESTIMASI VOLUME LIMPASAN PERMUKAAN,
DEBIT PUNCAK ALIRAN, DAN EROSI TANAH DENGAN MODEL SOIL
CONSERVATION SERVICE (SCS), RASIONAL
DAN MODIFIED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (MUSLE)
(Studi Kasus di DAS Keduang, Wonogiri)**

Ugro Hari Murtiono

Kelompok Peneliti Konservasi Tanah dan Air (KTA) Balai
Penelitian Kehutanan Solo
Jl. Jend. A. Yani - Pabelan, Kartasura
Po Box 295 Surakarta 57102
E-mail: ugrohari@yahoo.com

ABSTRACT

Hydrologic modelling has been developing and it is usefull for basic data in managing water resources. The aim of the reseach is to estimate volume runoff, maximum discharge, and soil erosion with SCS, Rational, and MUSLE models on Keduang Watershed. Explain the data analysis, and flow to get the data. SCS parameters model use are : runoff, rainfall, deferent between rainfall runoff. The deferent rainfall between runoff relationship kurva Runoff Coefisient (Curve Nunmber/CN). This Coefisient connected with Soil Hydrology Group (antecedent moisture content/ AMC), landuse, and cultivation method. Rational parameters model use are : runoff coefisient, soil type, slope, land cover, rainfall intensity, and watershed areas. MUSLE parameters model use are: rainfall erosifity (RM), soil erodibility (K), slope length (L), slope (S), land cover (C), and soil conservation practice (P). The result shows that the conservation service models be applied Keduang Watershed, Wonogiri is over estimated about 29.54 %, Rational model is over estimated about 49,96 %, and MUSLE model is over estimated about 48,47 %.

Keywords: *hydrological models, estimate volume runoff, maximum discharge, and soil erosion, Soil Conservation Model (SCS), Rational models, and MUSLE models.*

PENDAHULUAN

Salah satu program perencanaan pengelolaan DAS adalah perlu diketahuinya lebih dahulu kondisi hidrologi setempat. Namun demikian sebagian besar DAS yang akan direncanakan pengelolaan DASnya belum tersedia data hidrologi yang cukup memadai, untuk mengatasi masalah ini diperlukan suatu pendekatan melalui pemodelan hidrologi yang sesuai dengan kondisi biofisik sub DAS/DAS tersebut, hasil pemodelan tersebut diharapkan dapat diterapkan pada sub DAS/DAS yang mempun-

nyai kemiripan kondisi biofisik. Dengan adanya model hidrologi yang sesuai maka karakterisasi dan evaluasi sub DAS/DAS tersebut dapat dengan mudah dilakukan.

Pemodelan hidrologi sudah diterapkan sejak lama. Prediksi debit maksimum (metode rasional) yang berdasarkan pada curah hujan, luas DAS, dan karakteristik daerah aliran sungai telah diperkenalkan pada tahun 1850 oleh Mulvaney (Fleming, 1979). Crawford dan Linsley (1966) memperkenalkan model *Stanford* untuk memprediksi “*streamflow*” dan sedimen dari DAS.

Model-model hidrologi sebagian besar dikembangkan di daerah temperate, hanya sedikit yang dikembangkan di daerah tropis, padahal daerah tropis juga sangat memerlukan adanya model hidrologi. Model hidrologi yang dikembangkan di daerah temperate belum tentu sesuai bila diterapkan di daerah tropis karena selain perbedaan iklim juga perbedaan tanah dan vegetasi penutupnya.

Struktur model hidrologi didasarkan pada proses-proses yang ada dalam siklus hidrologi. Proses-proses tersebut mulai dari hujan, intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, *overlandflow*, *sub surface flow*, *perkolation*, *groundwater storage*, *ground water flow*, sampai hasil air. Untuk itu perlu dikaji model-model hidrologi khususnya pada kawasan hutan dan non hutan yang dapat diterapkan dan dikembangkan di Indonesia.

Manfaat hasil analisis data hidrologi dewasa ini semakin dirasakan, bahkan selalu diperlukan sebagai data dasar bagi kegiatan yang menyangkut pengelolaan sumberdaya air DAS. Pada umumnya ada 3 (tiga) tahap dalam analisis hidrologi yaitu diawali dengan mengadakan pengukuran terhadap fenomena hidrologi, membuat korelasi diantara peubah yang diteliti, dan melakukan prediksi (Sharp dan Sawden, 1984). Analisis regresi dan korelasi sering kali digunakan untuk membuat suatu model hidrologi. Model hidrologi diusahakan sesederhana mungkin dalam arti model tersebut mudah digunakan, tanpa mengabaikan aspek ketelitian, dan model yang dihasilkan bersifat prediktif.

Suatu model hidrologi umumnya menggunakan satuan DAS sebagai satu kesatuan daerah penelitian. Dalam analisis respons DAS, DAS merupakan satu sistem

hidrologi dimana terdapat hubungan yang sangat erat antara setiap masukan yang berupa hujan, proses hidrologi DAS, dan keluaran yang berupa debit sungai dan sedimen yang terangkut.

Setelah memperhatikan proses-proses hidrologi dalam suatu DAS, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi curah hujan menjadi aliran langsung selain dipengaruhi oleh sifat fisik permukaan DAS, juga dipengaruhi oleh sifat-sifat hujannya. Mengingat bahwa hujan yang terjadi di daerah beriklim tropika basah mempunyai variasi yang cukup besar menurut ruang dan waktu, maka kajian tentang hubungan hujan dan limpasan serta bagaimana pengaruhnya terhadap respons suatu DAS sangat diperlukan, mengingat pengukuran fenomena hidrologi terutama daerah-daerah yang tidak ada pencatatan data hidrologinya baik karena keterbatasan dana maupun sumberdaya manusianya, maka diperlukan suatu model korelasi diantara peubah, sehingga dengan adanya suatu model maka dapat dikurangi pengukuran fenomena hidrologi tersebut secara langsung.

Dalam pembuatan model diperlukan data yang lengkap dan akurat, sehingga hasil model dapat diterapkan pada daerah yang mempunyai kemiripan kondisi biofisik maupun sosial ekonominya. Dalam kajian ini hanya akan diuji pada model empiris yang merupakan salah satu bagian dari model deterministik. Model ini pada umumnya mempresentasikan hubungan dua atau lebih faktor-faktor hidrologi berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium maupun lapangan. Model empiris biasanya berbentuk persamaan matematika berdasarkan informasi yang diperoleh dari hasil penelitian.

Tujuan kajian ini adalah memprediksi volume limpasan permukaan, debit aliran puncak, dan erosi tanah dengan model *SCS*, *Rational*, dan *MUSLE* pada DAS Keduang.

Terjadinya erosi, banjir, kekeringan, pendangkalan sungai, waduk serta jaringan irigasi merupakan kenyataan bahwa sedemikian merosotnya kondisi hidroorologis dan makin buruknya mutu sumber daya alam di hampir semua wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia. Dengan kondisi yang demikian usaha-usaha pengelolaan wilayah DAS pada saat ini dirasakan kurang efektif dan kurang efisien, keadaan ini tercermin dengan masih belum terkendalinya banjir di musim hujan, terjadinya kekeringan dimusim kemarau dan menurunnya kualitas air. Banjir dan kekeringan disebabkan oleh tataguna sumberdaya tanah dan air belum sesuai dengan pengelolaan DAS yang baik, sedangkan makin menurunnya kualitas air merupakan akibat dari alokasi pembangunan di lingkungan pemukiman, industri, produksi.

Sampai saat ini pengelolaan DAS masih belum mencapai taraf yang dapat menjamin keseimbangan yang diperlukan dalam tiap-tiap DAS, yaitu: belum terwujudnya sinkronisasi program/rencana induk dari masing-masing kegiatan dalam satuan waktu dan tempat dari berbagai instansi yang terkait dalam pengelolaan DAS, sedangkan pengelolaan DAS yang ada sekarang adalah pengembangan rencana DAS dengan tekanan kepada Sub-sistem airnya saja, padahal sebenarnya yang diperlukan adalah konsep makro yang menyangkut total sistem (air, tanah, vegetasi dan masyarakat), yang tersusun dalam suatu *pre-planning*, bukannya sebagai *post-planning* (Sudariyono, 1984).

Secara garis besar model hidrologi dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu model deterministik, statistik, dan optimalisasi. Model deterministik dapat didefinisikan sebagai sebuah model baik empiris maupun konseptual yang memperlakukan proses-proses hidrologi sebagai bagian dari sistem determinasi dengan tanpa membuat perwakilan dari proses-proses random yang mungkin muncul dalam sistem. Contoh dari model deterministik ini adalah *Stanford Watershed Model*. Model statistik memperhatikan hubungan antara proses-proses yang diarahkan ke teori statistik. Contoh dari model statistik ini adalah *Co-axiial correlation model*. Model optimum adalah model yang telah diberikan beberapa tujuan disatu sisi dan sisi lain telah diberikan beberapa hambatan. Kemudian model ini akan memberikan rencana yang paling bagus untuk kepuasan tujuan dengan hambatan-hambatan yang diberikan. Contoh model ini adalah *model Fiering* (1971).

Lebih jauh model deterministik dapat dibagi menjadi dua yaitu model empiris yang menekankan pada proses-proses komponen dan model konseptual yang menekankan pada proses-proses terintegrasi. Model konseptual ini masih dapat dibagi lagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu linear atau non linear, *lumped* atau *distributed*, dan sesaat atau kontinyu.

Model statistik dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu model korelasi dan model stokastik. Model optimum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis sistem dan "teori keputusan".

Pemodelan dapat memberikan beberapa kontribusi dalam pemahanan ilmiah (de coursey,1991 dalam de Roo, 1993). Model matematik yang lengkap dapat me-

nyediakan garis besar konsep yang mungkin membantu tempat-tempat dimana pengetahuan tentang suatu hal masih kurang, dan mensimulasi ide-ide yang baru.

Pemodelan dapat membantu memberikan strategi dan dukungan taktis untuk sebuah program penelitian, memotivasi peneliti, dan mendorong kerjasama.

- a. Model-model yang divalidasi dengan data dari DAS penelitian menyediakan sebuah mekanisme untuk transfer data dari daerah penelitian ke daerah dimana data akan dipakai.
- b. Model hidrologi konseptual adalah model hidrologi yang didasarkan pada proses-proses yang mempengaruhi response DAS. Model hidrologi konseptual diantaranya adalah model *STANFORD*. Model ini adalah salah satu model simulasi hidrologi dengan komputer yang paling awal. Model tersebut telah dikembangkan oleh *Crawford* dan *Linsley* pada tahun 1962. Model ini didasarkan pada penyederhanaan konseptual dari proses-proses fisik *overland flow*, *interflow*, *soil water storage*, *deep percolation*, *ground water storage*, dan evapotranspirasi untuk memperkirakan *streamflow* dari data curah hujan. Model ini mensyaratkan kalibrasi untuk kondisi-kondisi spesifik DAS.

Limpasan permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau dan lautan. Nilai limpasan permukaan yang penting untuk keperluan evaluasi DAS adalah kondisi volume limpasan permukaan yang terjadi sebelum selama dan setelah adanya suatu kegiatan/proyek. Beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi

tersebut adalah yang berkaitan dengan : (1). Curah hujan meliputi; lama waktu hujan, intensitas dan penyebarannya; dan (2). Karakteristik daerah aliran sungai (DAS) meliputi: bentuk dan ukuran DAS, topografi, tanah, geologi dan penggunaan lahan.

Melalui ujicoba terhadap perilaku infiltrasi air hujan yang jatuh pada berbagai jenis tanah yang berbeda. Dinas Konservasi Tanah Amerika Serikat (*US SCS, 1972*) mengembangkan metode estimasi total volume limpasan dengan menggunakan data hujan yang tersedia, yaitu dikenal sebagai metode *SCS*. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku infiltrasi tanah tersebut untuk mendukung metode ini, a.l. : grup hidrologi tanah (*hydrolic soil group*), type penutupan lahan (*land cover*), kondisi hidrologis dan kelembaban tanah awal (*antecedent moisture content/AMC*), dan cara bercocok tanam (cara pengelolaan lahan) (Sukresno.1999).

Dalam menentukan besarnya debit sungai berdasarkan hujan perlu ditinjau hubungan antara hujan dan aliran sungai. Besarnya aliran di dalam sungai ditentukan terutama oleh besarnya hujan, intensitas hujan, luas daerah hujan, lama waktu hujan, luas daerah aliran sungai dan ciri-ciri daerah aliran itu.

Dengan kemungkinan yang sama untuk timbul, intensitas hujan berkurang kalau intervalnya meningkat. Kalau hujan berlangsung lebih lama daripada lama waktu konsentrasi alirannya, intensitas rata-ratanya akan lebih kecil daripada kalau lama waktu hujan itu sama dengan lama waktu konsentrasi. Lama waktu konsentrasi ialah selang waktu antara permulaan hujan dan saat yang seluruh areal daerah alirannya ikut berperan pada pengaliran sungai. Apabila

lama hujan melebihi lama waktu konsentrasi, maka laju pengaliran didalam sungai akan kurang daripada kalau lama waktu hujannya sama dengan lama waktu konsentrasi. Sebaliknya, apabila lama waktu hujan lebih pendek daripada lama waktu konsentrasi, intensitas hujannya meningkat menjadi lebih tinggi, akan tetapi hanya sebagian dari areal daerah aliran ikut berperanan pada pengaliran sungai. Dengan demikian maka laju pengaliran maksimum terjadi kalau lama waktu hujan sama dengan lama waktu konsentrasi daerah alirannya.

Model Erosi *MUSLE* merupakan pengembangan dari persamaan *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang pertama kali diterbitkan dalam *Agricultural Handbook* No. 282 (1965) dan dipublikasikan lagi pada *Agricultural Handbook* No. 587 (1978).

Metode *USLE* sebagai suatu persamaan hanya dapat menduga besar erosi tanah tahunan yang berasal erosi permukaan yang terjadi pada bagian profil bentang lahan (*landscape*) dan tidak dapat menghitung deposisi yang terjadi. *USLE* juga tidak diperuntukkan untuk menghitung hasil sedimen yang berada pada hilirnya maupun bentuk erosi *gully*.

Selanjutnya persamaan pendugaan erosi dikembangkan oleh Williams (1975) yaitu menerapkan faktor erosivitas hujan (R) sebagai *rainfall-runoff* basis sebagai persamaan *MUSLE (modified USLE)*.

METODE PENELITIAN

Letak dan Luas

Letak daerah penelitian berdasarkan unit DAS termasuk DAS Keduang, Solo Hulu, wilayah DAS Bengawan Solo, berdasarkan peta rupa bumi digital Indo-

nesia, yang diterbitkan Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional), terletak pada : 7° 42' 27,16" - 7° 55' 35,51" LS 110° 59' 29,29" - 111° 13' 30,00" BT. Berdasarkan letak administrasi meliputi wilayah Kecamatan: Girimarto, Jatipurno, Sidoharjo, Jatisrono, Slogohimo dan Jatiroto yang semuanya termasuk Kabupaten Wonogiri.

Luas Sub DAS Keduang berdasarkan wilayah hidrologis adalah 35.993 ha (luas Sub DAS yang diukur sampai outlet pengukuran (Stasiun Pengamatan Arus Sungai/SPAS), sedangkan luas Sub DAS secara alamiah adalah : 42.644 ha.

Bahan dan Alat

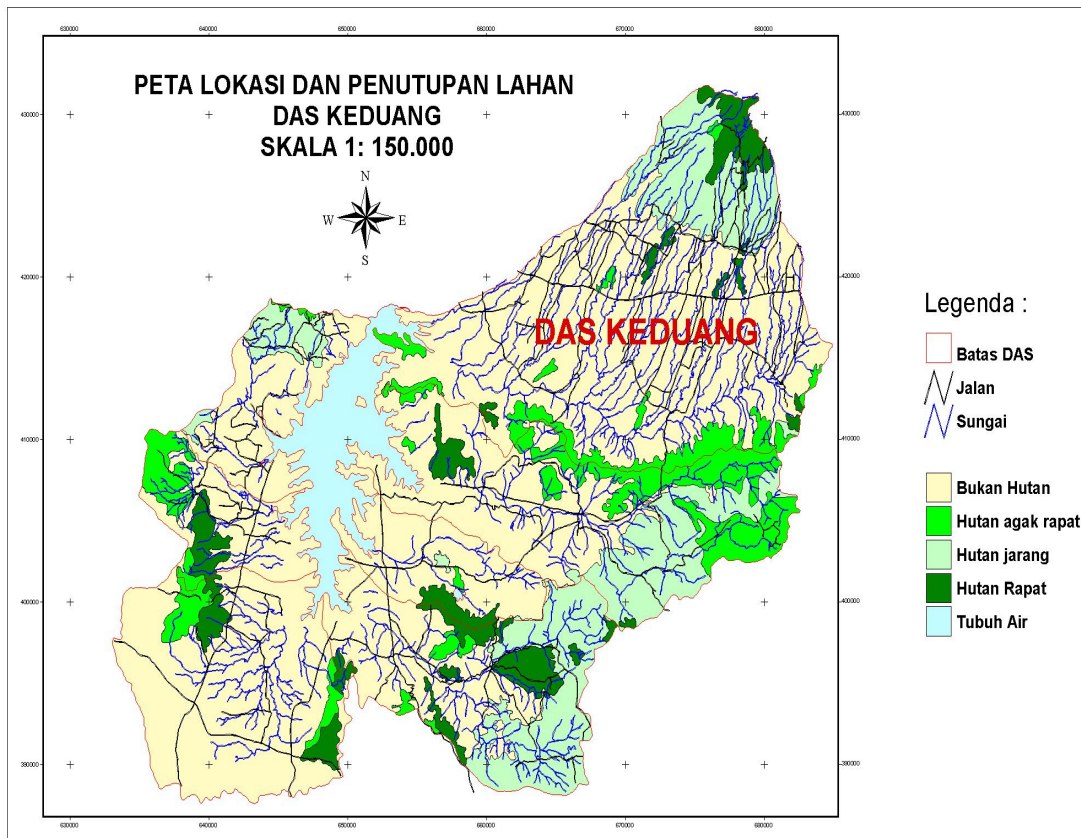
Bahan yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini meliputi :

- (1).Peta penggunaan lahan skala 1 :50.000, peta geologi skala 1 : 500.000, peta tanah skala 1 : 100.000, dan peta rupa bumi Indonesia (Peta RBI) skala 1 : 50.000
- (2). Citra *landsat*
Alat yang digunakan untuk penelitian meliputi :
 - 1) Stasiun Pengamatan Arus Sungai (SPAS)
 - 2) Stasiun Pengamatan Hujan (SPH)
 - 3) Komputer
 - 4) Software SPSS

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi :

- (1). parameter hidrologi untuk mendukung estimasi volume limpasan (*runoff*) dengan metode **SCS** yaitu : grup hidrologi tanah (*hydrologic soil grup*), tipe penutupan lahan (*land cover*), kondisi hidrologi dan kelembaban tanah awal (*antecedent moisture content/AMC*), dan cara bercocok tanam (cara pengelolaan lahan);
- (2). parameter hidrologi untuk mendukung estimasi debit maksi-



Gambar 1. Peta Lokasi dan Penutupan Lahan DAS Keduang

rum dengan metode rational yaitu : koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti: jenis tanah, kemiringan lereng, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran; dan (3). parameter hidrologi untuk estimasi erosi dan sedimentasi dengan metode *MUSLE* yaitu : erosivitas hujan sebagai *runoff-rainfall* basis (R_m), erodibilitas tanah (K), panjang lereng (L), kemiringan lereng (S), penutupan tanaman (C), dan praktek konservasi tanah (P).

Pengolahan dan Analisa Data

a. Estimasi volume limpasan permukaan dengan metode *SCS* yaitu :

Metode prakiraan total volume limpasan permukaan dari *SCS* ini, persamaannya adalah :

$$Q = \frac{(P-0.2 s)^2}{P + 0.8 s} P^3 0.2 s \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- Q = limpasan permukaan (mm)
- P = curah hujan (mm)
- s = perbedaan antara curah hujan dan runoff (mm)

Besarnya perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan, s adalah berhubungan dengan angka kurva limpasan (CN) dimana persamaannya adalah :

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

Angka *CN* (*curve number*) adalah bervariasi dari 0 sampai 100 yang dipengaruhi oleh kondisi grup hidrologi tanah *AMC* (*antecedent moisture content*), penggunaan lahan dan cara bercocok tanam. Kondisi *AMC* rata-rata (II) angka *CN* tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Adapun grup hidrologi tanah (dibedakan atas A, B, C dan D dan untuk kondisi *AMC* II (rata-rata), dikategorikan menurut besarnya laju infiltrasi dan tekstur

tanah, nilainya disajikan pada Tabel 2. Kondisi *AMC* (*antecedent moisture content*) I (kering) dan III (jenuh air) angka *CN* langsung diperoleh dari Tabel 3, didasarkan pada angka *CN* kondisi II.

b. Estimasi debit maksimum dengan metode rasional yaitu :

Rumus rasional adalah rumus yang tua dan yang terkenal diantara rumus-rumus empiris. Untuk pertama-tama digunakan di Irlandia oleh Mulvaney pada tahun 1847.

Pemikiran secara rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan rumus rasional berikut :

Tabel 1. Angka *CN* (*curve number*) untuk kondisi *AMC* (*antecedent moisture content*) II (kondisi rata-rata)

Penggunaan lahan (1)	Tipe Penutupan (2)	Cara Pengelolaan (3)	Kondisi Hidrologi (4)	Grup Hidrologi Tanah			
				A (5)	B (6)	C (7)	D (8)
Pertanian	Bera	Tanah terbuka		77	86	91	94
	Tanaman berjajar	Larikan lurus	Buruk	72	81	88	91
		Larikan lurus	Baik	67	78	85	89
		Kontur	Buruk	70	79	84	88
		Kontur	Baik	65	75	82	86
		Kontur & teras	Buruk	66	74	80	82
		Kontur & teras	Baik	62	71	78	81
	Padi, gandum	Larikan lurus	Buruk	65	76	84	88
		Larikan lurus	Baik	63	75	83	87
		Kontur	Buruk	63	74	82	85
		Kontur	Baik	61	73	81	84
		Kontur & teras	Buruk	61	72	79	82
Kontur & teras		Baik	59	70	78	81	
Tanaman legum	Larikan lurus	Buruk	66	77	85	89	
	Larikan lurus	Baik	58	72	81	84	
	Kontur	Buruk	64	75	83	85	
	Kontur	Baik	55	69	78	83	
	Kontur & teras	Buruk	63	73	80	83	
	Kontur & teras	Baik	51	67	76	80	
Lapangan rumput			Buruk	68	79	86	89
			Sedang	49	69	79	84
			Baik	39	61	74	80
Padang rumput				30	58	71	78
	Tegakan hutan		Buruk	45	66	77	83
			Sedang	36	60	73	79
<i>Kajian Model Estimasi Volume Limpasan Perumahan ... (Ugo Hari Murtono)</i>				77			
	Pekarangan rumah		-	59	74	82	86
Padang rumput (iklim kering)	Tanaman perdu (rumput-an & tanaman bawah)		Buruk (< 30%)		80	87	93
			Sedang		71	81	89
			Baik (70%)		62	74	79
	Perdu daerah pegunungan		Buruk		66	74	79

Penggunaan lahan	Tipe Penutupan	Cara Pengelolaan	Kondisi Hidrologi	Grup Hidrologi Tanah			
				A	B	C	D
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Pekarangan rumah		-	59	74	82	86
Padang rumput (iklim kering)	Tanaman perdu (rumput-an & tanaman bawah)		Buruk (< 30%)		80	87	93
			Sedang		71	81	89
			Baik (70%)		62	74	79
	Perdu daerah pegunungan		Buruk		66	74	79
			Sedang		48	57	63
			Baik		30	41	48
	Perdu padang pasir		Buruk	63	77	85	88
			Sedang	55	72	81	86
			Baik	49	68	79	84
Perkotaan	Telah berkembang :						
	-Taman kota berumput		Buruk (2%)	68	79	86	89
			Sedang	49	69	79	84
			Baik (75 %)	39	61	74	80
	- Kawasan beraspal dan berbeton			98	98	98	98
	- Jalan tanah			72	82	87	89
	- Jalan aspal/beton			98	98	98	98
	- Jalan berbatu			76	85	89	91
	- Jalan aspal/beton Bersaluran Terbuka			83	89	92	93
	Wilayah :						
	- Pertokoan (85 % kedap air (ka)			89	92	94	95
	- Industri (72 % ka)			81	88	91	93
	- Perumahan (halaman (h) 500 m ² , 65 % ka)			77	85	90	92
	- Perumahan (h ± 1000 m ² , 38% ka)			61	75	83	87
	- Perumahan (h ± 1350 m ² , 30% ka)			57	72	81	86
	- Perumahan (h ± 2000 m ² ,25% ka)			54	70	80	85
	- Perumahan (h ± 4000 m ² , 20% ka)			51	68	79	84
	- Perumahan (h ± 8000 m ² , 12% ka)			46	65	77	82
	- Pengembangan Kota (tanpa vegetasi)			77	86	91	94

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

Tabel 2. Grup Hidrologi Tanah (*hydrolic soil group*)

Grup Tanah	Laju infiltrasi (mm/jam)	Tekstur
A	8- 12	Pasir, pasir berlempung dan lempung berpasir
B	4 – 8	Lempung berdebu, lempung
C	1 – 4	Lempung pasir berliat
D	0 – 1	Lempung berliat, lempung debu berliat, liat berpasir, liat berdebu, liat

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

Tabel 3. Angka *CN* untuk kondisi *AMC* I (kering) dan III (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir).

Angka <i>CN</i> (II) untuk kondisi <i>AMC</i> I (kering) dan <i>AMC</i> III (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir)		
Angka <i>CN</i> (II)	Kondisi <i>AMC</i> I (kering)	Kondisi <i>AMC</i> III (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir)
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

$Q = C.I.A.$ cfs (*cubic feet per second* atau *second feet*) (3)

A = luas daerah aliran sungai dalam acres

I = intensitas hujan maksimum selama waktu yang sama dengan lama waktu konsentrasi, dinyatakan dalam inchi tiap jam

C = angka pengaliran (*koefisien runoff*), tak berdimensi.

Apabila digunakan satuan metrik, maka rumus rasional menjadi :

$$Q = 0,278 C.I.A. \text{ m}^3/\text{dt.} \dots\dots\dots (4)$$

I : dalam mm tiap jam

A : dalam km².

a. Koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti : jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran.

Besarnya koefisien *runoff* (C) didasarkan pada keadaan daerah pengaliran seperti terlihat pada Tabel 4.

b. Intensitas hujan (I) didapat dari persamaan :

$$I = \frac{R}{24} \cdot \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

I = intensitas hujan selama *time of concentration* (mm/jam)

R = hujan sehari (mm)

T_c = *time of concentration* (jam)

$$T_c = \frac{(0,869 \times L^3)^{0,385}}{H} \dots\dots\dots (6)$$

T_c = *time of concentration* (jam)

L = panjang sungai utama (km)

H = beda tinggi antara titik tertinggi dengan titik terendah pada *catchment area* (m)

c. Luas DAS (A) dalam km²

3) Estimasi perhitungan erosi tanah dengan metode *MUSLE*

Metode *USLE* sebagai suatu persamaan hanya dapat menduga besar erosi tanah tahunan yang berasal erosi permukaan yang terjadi pada bagian profil bentang lahan (*landscape*) dan tidak dapat

Tabel 4. Perhitungan Koefisien *Runoff*

No.	Keadaan daerah pengaliran	Koefisien <i>runoff</i>
1.	Bergunung dan curam	0,75 - 0,90
2.	Pegunungan tersier	0,70 - 0,80
3.	Sungai dengan tanah dan hutan dibagian atas dan bawahnya	0,50 - 0,75
4.	Tanah dasar yang diairi	0,45 - 0,60
5.	Sawah waktu diairi	0,70 - 0,80
6.	Sungai bergunung	0,75 - 0,85
7.	Sungai dataran	0,45 - 0,75

Sumber : Sosrodarsono, 1993

menghitung deposisi yang terjadi. *USLE* juga tidak diperuntukkan untuk menghitung hasil sedimen yang berada pada hilirnya maupun bentuk erosi *gully*.

Selanjutnya persamaan pendugaan erosi juga dikembangkan oleh Williams (1975) yaitu menerapkan faktor erosivitas hujan (R) sebagai *rainfall-runoff* basis sebagai persamaan *MUSLE* (*modified USLE*), sehingga persamaannya menjadi :

$$A = Rm \times K \times L \times S \times C \times P \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

$$Rm = 11,8 (Q qp)^{0,56}$$

Q = total volume *runoff* (m3)

qp = adalah puncak banjir (m3/dt)

a). Rm : erosivitas hujan merupakan faktor R pada *MUSLE*, yang dicari dengan menggunakan nilai total volume *runoff* dan debit puncak, dimana Rm (Williams dan Berndt,1977) :

$$Rm = 11,8 (Q qp)^{0,56}$$

Q = total volume *runoff* (m3)

qp = adalah puncak banjir (m3/dt) yang dihitung dengan melalui pengamatan tinggi muka air otomatis (*AWLR*), pada tinggi muka air yang tertinggi, kemudian disubstitusikan kedalam persamaan hubungan tinggi muka air dengan debit aliran (*discharge rating curve*)

b). K: erodibilitas tanah yang dihitung dengan nomograph *USLE*, dari Wischmeier dan Smith , dimana parameter-parameternya adalah fraksi pasir sangat halus + debu (%), fraksi pasir (%), bahan organik (%) dengan 5 (lima) kelas, struktur tanah 4

(empat) kelas dan permeabilitas tanah 6 (enam kelas). Nilai K ini juga dapat dihitung dengan persamaan:

$$100 K = 2,1 M 1,14 (10^{-4}) (12 - a)^{EU} + 3,25 (b-2) + 2,5 (c - 3) \dots (8)$$

dimana untuk memperoleh nilai satuan metrik, maka nilai K adalah :

$$K = 1,292 \times \text{nilai } K_{EU}$$

c). LS : faktor panjang dan kemiringan lereng yang dihitung dengan persamaan

$$L = (1/22,1)^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

$$S = 65,41 \sin 2 a + 4,56 a + 0,065 \dots\dots\dots (10)$$

d). C dan P : berupa faktor penutupan tanah oleh tanaman (C) dan praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Estimasi Volume Limpasan Permukaan dengan Model SCS

Perhitungan masing-masing faktor untuk Model **SCS** adalah sebagai berikut :

1. Faktor angka *Curve Number* (CN) disajikan pada Tabel 5.

2. Perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan (s)

Besarnya perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan (s) adalah berhubungan dengan angka kurva limpasan permukaan (CN) dimana persamaannya adalah :

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) 25,4 \text{ atau}$$

Tabel 5. Perhitungan angka *Curve Number (CN)* DAS Keduang

No.	Luas (ha)	Kelompok tanah	Tipe landuse, Perlakuan, Kondisi tanah	Angka CN	CN Tertimbang
1	2	3	4	5	6 = 2 x 5
1	7.971,191	D	Pekarangan rumah	86	685.522,43
2	255,671	D	Lapangan rumput, baik	80	20.453,664
3	2.528,760	D	Tegakan hutan, baik	77	194.714,52
4	1.288,148	A	Tegakan hutan, sedang	36	46.373,328
5	3.446,809	A	Tegakan hutan, buruk	45	155.106,39
6	12.948,285	D	Padi, larikan lurus, baik	87	11.265,008
7	8.341,739	D	Legum, kontur dan teras baik	80	667.339,12
	36.780,603				2.896.010,2
Angka CN tertimbang = 2.896.010,2445 / 36.780,603 = 78,74					

Sumber : hasil perhitungan

$$S = \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

sehingga (s) = (25400 / CN) - 254
 (s) = (25.400 / 78,74) - 254
 = **68,58**

3. Volume Limpasan Permukaan
 Volume limpasan permukaan (*runoff*) dengan persamaan :

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

dimana :

- Q = limpasan permukaan (mm)
 P = curah hujan sesaat (mm) = 108 mm, (hujan maksimum terjadi pada tanggal 20–Desember-2005)
 s = perbedaan antara curah hujan dan runoff (mm)

$$Q = \left\{ 108 - (0,2 \times 68,58) \right\}^2 / \left(108 + (0,8 \times 68,58) \right) = 8889.4726 / 162.864 = \mathbf{54,58 \text{ mm}}$$

4. Total volume limpasan permukaan (*run-off*) pada kejadian hujan maksimum sebesar 108 mm (20-Desember-2005)

Total volume limpasan permukaan (Q) untuk DAS Keduang pada tanggal 20 Desember 2005 =
 54,58 x 1/1000 m x 36.780,603 x 10.000 m²
 = **20.056.462,82 m³**

Perhitungan hasil total volume limpasan permukaan terprediksi (*Q-SCS*) di DAS Keduang pada kejadian hujan maksimum sebesar 108 mm pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 20.056.462,82 m³ dibandingkan dengan nilai aktual yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 15.482.534,40 m³, sehingga terdapat selisih + 4.573.928,40 m³ (29,54 %). Hal ini menunjukkan bahwa metode *SCS* yang diterapkan pada DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi total volume limpasan permukaan.

Model Estimasi Debit Puncak Aliran Dengan Model Rasional

Dalam mengestimasi debit maksimum (*qp*) dengan metode rasional digunakan persamaan berikut :

$$qp = 0,278 \text{ C.I.A. m}^3/\text{dt.}$$

dimana

- A = luas daerah aliran sungai dalam km²
- I = intensitas hujan maksimum selama waktu yang sama dengan lama waktu konsentrasi, dinyatakan dalam mm tiap jam
- C = Koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti : jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran.

1. Besarnya koefisien *runoff* (C) didasarkan pada keadaan daerah pengaliran seperti terlihat pada Tabel 6.
2. Intensitas hujan (I) didapat dari persamaan :

$$I = \frac{R}{25} \dots \left(\frac{24}{Tc} \right)^{2/3}$$

- I = intensitas hujan selama *time of concentration* (mm/jam)
- R = hujan sehari (mm)
- Tc = *time of concentration* (jam)

$$Tc = \frac{(0,869 \times L^3)^{0,385}}{H}$$

- Tc = *time of concentration* (jam)
- L = panjang sungai utama (km) = 37,82 km.
- H = beda tinggi antara titik tertinggi dengan titik terendah pada *catchment area* (m)
925 - 150 = 1725 m.

$$Tc = \left(\frac{0,867 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$$

$$Tc = \left(\frac{0,867 \times (37,82)^3}{1725} \right)^{0,385}$$

$$Tc = \left(\frac{46.901,1694}{1725} \right)^{0,385}$$

$$Tc = 3,57 \text{ jam}$$

Tabel 6. Perhitungan Koefisien *Runoff* di sub DAS Keduang

No.	Kondisi Sungai	Luas		Nilai C	Nilai C Tertimbang
		(ha)	(%)		
1.	Sungai dataran	5.331	14,49	0,60	0,087
2.	Sungai bergunung	26.935	73.23	0,80	0.586
3.	Sungai bergunung dan curam	4.515	12,28	0,825	0,101
Koefisien <i>Runoff</i> (C) rata-rata tertimbang					0,774

$$I = \frac{R}{24} \cdot \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3}$$

$$I = \frac{108}{24} \cdot \left(\frac{24}{3.57} \right)^{2/3}$$

$$I = 4,50 \cdot 3,585 = \mathbf{16,13 \text{ mm/jam}}$$

3. Luas DAS (A) dalam km²
Luas DAS (A) Keduang = 367,81 km²

4. Estimasi debit aliran puncak (*qp*) DAS Keduang berdasarkan model rasional
 $qp = 0,278 \text{ C.I.A. m}^3/\text{dt}$
 $qp = 0,278 \times 0,774 \times 16,13 \times 367,81 \text{ m}^3/\text{dt}$
 $qp = \mathbf{1.276,57 \text{ m}^3/\text{dt}}$

Perhitungan hasil debit puncak aliran terprediksi (*qp*-rasional) di DAS Keduang pada kejadian hujan maksimum = 108 mm dan tinggi muka air maksimum = 3,30 m pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 1.276,5671 m³/dt dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) yang terjadi pada tanggal 20 Desember 2005 dengan tinggi muka air maksimum = 3,30 m, nilainya sebesar 638,819 m³/dt, sehingga terjadi penyimpangan serbesar + 637.7481 m³/dt (49,96 %). Hal ini menunjukkan bahwa untuk metode rasional yang diterapkan di DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi debit puncak aliran.

Model Estimasi Erosi Dengan Model MUSLE

Parameter yang dihitung dalam memprediksi erosi tanah dengan metode MUSLE adalah sebagai berikut

- 1). *Rm* : erosivitas hujan merupakan faktor *R* pada MUSLE, yang dicari dengan

menggunakan nilai total volume *runoff* dan debit puncak aliran, dimana *Rm* (Williams dan Berndt, 1977) :

$$R_m = 11,8 (Q \text{ qp})^{0,56}$$

Q = total volume *runoff* (m³) yang dihitung dengan metode bilangan kurva (*SCS*)

qp = adalah puncak banjir (m³/dt) yang dihitung dengan rumus rasional.

$$R_m = 11,8 (Q \text{ qp})^{0,56}$$

$$R_m = 11,8 (20.056.462 \times 1.276,57)^{0,56}$$

$$R_m = \mathbf{5481,1241}$$

- 2). *K* : erodibilitas tanah yang dihitung dengan nomograph *USLE*, dari Wischmeier dan Smith, dimana parameter-parameternya adalah fraksi pasir sangat halus + debu (%), fraksi pasir (%), bahan organik (%) dengan 5 (lima) kelas, struktur tanah 4 (empat) kelas dan permeabilitas tanah 6 (enam) kelas. Nilai *K* ini juga dapat dihitung dengan persamaan :

$$100 K = 2,1 M^{1,14} (10^{-4})^{(12-a)} + 3,25 (b-2)^{EU} + 2,5 (c-3)$$

dimana untuk memperoleh nilai satuan metrik, maka nilai *K* adalah :

$$K = 1,292 \times \text{nilai } K_{EU}$$

Nilai *K* (erodibilitas tanah) DAS Keduang disajikan dalam Tabel 11.

- 3). *LS* : faktor panjang dan kemiringan lereng yang dihitung dengan persamaan

$$L = (1/22,1)^{1/2}$$

$$S = 65,41 \sin 2 a + 4,56 a + 0,065$$

Tabel 7. Nilai K (erodibilitas tanah) DAS Keduang

No.	Jenis tanah	Batuan induk	K	Luas		K tertimbang
				(ha)	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (4) x (6)
1.	Lithosol	Breksi	0,015	3.593	9,77	0,0015
2.	Lithosol	Vulkanik/lava	0,03	5.392	14,66	0,0044
3.	Gromusol	Napel	0,24	353	0,96	0,0023
4.	Mediteran	Tuff Vulkan	0,18	15..577	42,35	0,0762
5.	Latosol	Tuff vulkan	0,16	11.866	32,26	0,0516
Nilai K (erodibilitas tanah) tertimbang						0,1360

Faktor panjang dan kemiringan lereng (faktor LS) DAS Keduang dihitung dengan bantuan peta topografi dengan persamaan McCool dkk. (1987). Hasil nilai panjang dan kemiringan lereng (faktor LS) sub DAS Keduang adalah = **17,3** (BTP DAS, 2001)

4). C dan P : berupa faktor penutupan tanah oleh tanaman (C) dan praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia. Nilai C dan P di DAS Keduang hasilnya disajikan pada Tabel 8.

5). Hasil prediksi tingkat erosi tanah (A) dari *MUSLE* dihitung berdasarkan persamaan umum kehilangan tanah (*USLE*) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= 70.687.029,01 \times 0,1360 \times 17,30 \\
 &\quad \times 0,035 \\
 &= \mathbf{5.820.935,465 \text{ ton} = 158,2610} \\
 &\quad \mathbf{\text{ton/ha/th}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan hasil erosi tanah (A) dari *MUSLE* terprediksi (*A-MUSLE*) di DAS Keduang tahun 2005 sebesar 158,2610 ton/ha/th dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil

Tabel 8. Nilai C dan P rata-rata tertimbang DAS Keduang

No.	Landuse	Nilai C	Nilai P	Luas		Nilai CP
				(ha)	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (3) x(4) x (6)
1.	Hutan	0,01	1,00	4.083	11,1	0,001
2.	Hutan dan semak	0,15	1.00	2.244	6,1	0,009
3.	Sawah	0,10	0,04	15..521	42,2	0,001
4.	Kampung	0,40	0,15	5.076	13,8	0,008
5.	Tegal	0,50	0,15	7.209	19,6	0,015
6.	Tegal/hutan rakyat	0,10	0,15	2.648	7,2	0,001
Nilai CP rata-rata tertimbang =						0,035

pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005 nilainya sebesar 106,5931 ton/ha/th, sehingga terjadi penyimpangan sebesar + 51,6679 ton/ha/th (48,47 %). Hal ini menunjukkan bahwa metode perhitungan erosi tanah dari *MUSLE (A-MUSLE)* yang diterapkan pada DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi erosi tanah.

KESIMPULAN

1. Metode *Soil Conservation Service (SCS)* terjadi *over estimate* sebesar 29,54 % dalam memprediksi volume aliran permukaan pada DAS Keduang, dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS), hal ini didasarkan pada hasil perhitungan total volume *runoff* terprediksi (*Q-SCS*) pada kejadian hujan sebesar maksimum = 108 mm pada tanggal 20 Desember 2005.
2. Metode Rasional (*qp-rasional*) terjadi *over estimate* sebesar 49,96 % dalam memprediksi debit aliran puncak pada DAS Keduang dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS), hal ini didasarkan pada hasil perhitungan debit maksimum terprediksi (*qp-rasional*) pada kejadian hujan maksimum = 108 mm dan tinggi muka air maksimum =

3,30 m pada tanggal 20 Desember 2005

3. Metode *MUSLE (A-MUSLE)* terjadi *over estimate* sebesar 48,47 % dalam memprediksi erosi tanah pada DAS Keduang, dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005. Perhitungan hasil erosi tanah (A) dari *MUSLE* terprediksi (*A-MUSLE*) di DAS Keduang tahun 2005 sebesar 158,2610 ton/ha/th dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005 nilainya sebesar 106,5931 ton/ha/th, sehingga terjadi penyimpangan sebesar + 51,6679 ton/ha/th (48,47 %).
4. Estimasi volume limpasan permukaan dengan model *SCS*, estimasi debit puncak aliran dengan model Rasional (*qp-rasional*) dan metode perhitungan erosi tanah dengan model *MUSLE (A-MUSLE)* pada DAS Keduang dengan luas yang relatif besar (42.644 ha) terjadi *over estimate* apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran aktual.
5. Disarankan perlu untuk dilaksanakan lagi penelitian pada lokasi lain yang mempunyai variasi luasan DAS yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, A., S. Abujamin, and U. Kurnia. 1984. Soil and Management Practices For Erosion Control. In Lal, R. 1990, *Soil Erosion in The Tropics Principles and Management*, Mc Graw – Hill, Inc., New York.
- Arsyad, S. 1989. Soil and Water Conservation (translated). IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Bols, P.L. 1978. The Iso-Eroder Map of Java and Madura. SRI, Bogor.

- Coursey, D.G., J.C. Shaake, and E.H. Seely. 1982. Stochastic Models in Hydrology. In Haan, Johnson, Brakensiek (Ed): *Hydrologic Modelling of Small Watersheds*. ASAE Monograph : 19 -73.
- De Roo, A.P.J. 1993. Modelling Surface Run Off and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information System. *Nederlands Geografische Studies* 157. Utrecht.
- Fleming, 1979. Deterministic Models in Hydrology. FAO. Rome. Italy.
- Junun Sartohadi dan Ratih Fitria Putri. 2008. “Evaluasi Potensi Degradasi Lahan dengan Menggunakan Analisa Kemampuan Lahan dan Tekanan Penduduk terhadap Lahan Pertanian di Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo” dalam *Forum Geografi*, Vol. 22, No. 1, Juli 2008. Hlm. 1-12.
- Kurnia, U. and H.Suwardjo. 1985. Effect of Mechanical Conservation Methods on Soil in Tropodulf and Trophotent in Yogyakarta. In Lal, R. (1990), *Soil Erosion In The Tropics : Principles and management*, Mc.Graw-Hill, Inc., New York.
- Mc.Cool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer. 1987. *Revised Slope Steepness Factor for The USLE*. Trans ASAE., 30 (5): 1397-1396.
- Mc.Cuen,R.H. 1989. Hydrologic Analysis and Design. Prince Hall, New York.
- Seyhan, E. 1977. Mathematical Simulation of Watershed Hydrologic Processes. Geografisch Instituut der Rijksuniversity te Utrecht, Utrecht.
- Sharp, J.J. and P.G. Sawden. 1984. Basic Hydrology. Butterworth & Co., London.
- Sosrodarsono, S. 1978. Hidrologi Untuk Pengairan. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sudariyono, 1984. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Seminar Hidrologi Dalam Rangka Peringatan Dies Natalis XXXV, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta 14-15 Desember 1984
- Suprpto Dibyosaputro. 2005. “Muatan Suspensi Total dan Laju Sedimentasi Sungai Kayan di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Timur”. *Forum Geografi*, Vol. 19, No. 2, Desember 2005. Hlm. 115-126.
- Sukresno. 1999. Laporan Kajian Penerapan RUSLE, MUSLE Untuk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi. BTPDAS, Badan Litbang Kehutanan dan Perkebunan, Dephutbun, Surakarta.
- Wischmeier,W.H. dan D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide To Conservation Planning. USDA. Ag. Handbook No.537, 58 p.