

ARAHAN PENGGUNAAN LAHAN UNTUK PENGENDALIAN EROSI TANAH DI SUB-DAS WURYANTORO DTA WADUK GAJAH MUNGKUR, WONOGIRI, JAWA TENGAH**SENAWI***

Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan UGM, Yogyakarta

ABSTRACT

The research aims to recommend optimum land use allocation that can control soil surface erosion in Wuryantoro sub-watershed. The research was done using land evaluation approach to land unit and analyzed based on area function allocation, land capability classification, and erosion hazard rate. Optimization analysis on land use allocation was done statistically through linear program simplex method using QSB software.

The results showed that actual land use caused actual soil surface erosion (A) of Wuryantoro sub-watershed was higher than tolerable erosion (T) threshold. Optimization analysis recommends that to control actual soil surface erosion (A) to be lower than tolerable erosion (T) threshold, it is needed to convert all actual land uses of groves and croplands to forest. Actual land uses of production forests, community forests, irrigated farmlands, rainfed farmlands, and residential could still be kept remain as they were.

Keywords: land unit, area function allocation, land capability, erosion hazard rate, optimum land use

*Alamat korespondensi: E-mail: senawi@ugm.ac.id ; HP : 081 2271 8607; Fax. 0274-548 815

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumberdaya alam merupakan permasalahan vital untuk daerah tropis sebab sebagian besar penduduk masih menyandarkan nasibnya pada aktivitas ekonomi primer yang akhirnya menyebabkan terjadi tekanan penduduk yang kuat pada hutan, air, dan lahan (Bocco *et al.*, 2005). Perkembangan penduduk mengakibatkan terjadinya peningkatan eksploitasi sumberdaya alam secara besar-besaran dan salah satunya adalah pengundulan hutan di DAS bagian hulu (Kodoatie dan Sugiyanto, 2002). Sumberdaya hutan di Indonesia sekarang tinggal 120,35 juta hektar dan yang terdegradasi telah mencapai 59,2 juta hektar (Ka'ban, 2006).

Hutan memiliki banyak manfaat penting bagi kehidupan manusia dan salah satu di antaranya

adalah manfaat untuk konservasi tanah dan air. Kodoatie dan Sugiyanto (2002) mengemukakan bahwa suatu DAS yang semula berupa hutan, apabila diubah menjadi sawah maka debit sungainya akan naik menjadi 2,5 sampai 9 kali debit semula. Bila hutan diubah menjadi kawasan perdagangan atau perindustrian maka debitnya meningkat tajam menjadi 6 sampai 25 kali debit semula. Perubahan paling besar adalah apabila kawasan hutan dijadikan daerah beton/beraspal maka hujan yang turun semuanya akan mengalir di permukaan dan tidak ada yang meresap ke dalam tanah sehingga debit sungai meningkat berubah menjadi 6,3 sampai 35 kali debit semula. Padahal, air merupakan tenaga erosi yang utama untuk daerah beriklim tropis yang lembab seperti halnya di Indonesia (Sarief, 1986) sehingga dapat dimaklumi bahwa kerusakan hutan pada

akhirnya dapat mengakibatkan erosi tanah dan degradasi lahan. Penebangan hutan, perubahan bentuk penggunaan lahan dari lahan konservasi menjadi lahan permukiman dan industri, menyebabkan sedikitnya 24 DAS di Jawa Tengah saat ini dalam kondisi kritis (Kompas, 2004).

Program rehabilitasi hutan dan lahan serta konservasi tanah bertujuan untuk merehabilitasi lahan yang rusak (kritis) serta untuk melindungi, meningkatkan dan mempertahankan kemampuan lahan agar dapat berfungsi dan berdaya guna secara optimal. Menurut Arsyad (1989), usaha konservasi tanah bukan berarti usaha untuk menunda penggunaan lahan atau melarang penggunaan lahan, tetapi usaha untuk menyesuaikan penggunaan lahan dengan kemampuan lahannya dan memberikan perlakuan sesuai dengan syarat yang diperlukan agar lahan dapat berfungsi secara baik.

Sub-DAS Wuryantoro merupakan bagian dari DAS Solo dan sebagai daerah tangkapan air (DTA) Waduk Serbaguna Gajah Mungkur di Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. DAS Solo adalah DAS Nasional yang mendapatkan perhatian dunia, hamparannya masuk wilayah Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur, dan termasuk DAS kritis yang perlu segera direhabilitasi karena erosi dan sedimentasi tinggi, tekanan penduduk besar, dan rawan banjir (SK Menhutbun No. 284 /Kpts-II/1999). Lebih dari itu, Sub-DAS Wuryantoro perlu segera direhabilitasi karena memiliki posisi strategis untuk menjaga kelangsungan fungsi Waduk Serbaguna Gajah Mungkur dan tata air DAS Solo secara keseluruhan. Permasalahannya adalah: Bagaimana karakteristik biogeofisik dan kemampuan lahan yang ada? Sudah sesuaikah bentuk penggunaan lahan saat ini dengan kemampuan lahan dan arahan fungsi kawasan yang ditetapkan oleh pemerintah? Berapa besar erosi dan tingkat bahaya erosi yang terjadi saat ini dan

masihkah dapat ditoleransi? Bagaimana bentuk penggunaan lahan Sub-DAS Wuryantoro yang optimal sehingga mampu mengendalikan erosi?

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik biofisik lahan, arahan fungsi kawasan (tata ruang) Sub-DAS, kelas kemampuan lahan, dan besarnya erosi tanah permukaan baik erosi tanah aktual maupun batas erosi tanah yang ditoleransi untuk merumuskan arahan penggunaan lahan optimal yang mampu mengendalikan erosi tanah permukaan di Sub-DAS Wuryantoro DAS Solo. Manfaat hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penatagunaan lahan dalam pengendalian erosi tanah permukaan daerah tangkapan hujan waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. Dampak implementasi dari hasil penelitian ini dapat menjaga kesuburan tanah dan produktivitas lahan, sebagai upaya mewujudkan program pengembangan wilayah secara terpadu.

METODE PENELITIAN

Letak dan luas

Penelitian ini dilakukan di Sub-DAS Wuryantoro DAS Solo dengan luas kurang lebih 1.303,79 ha. Secara geografis, lokasi penelitian ini terletak pada lintang 70 49' 52" - 70 51' 05" LS dan 1100 47' 25" - 1100 55' 11" BT. Secara administrasi berada di Kecamatan Wuryantoro, Manyaran, dan Wonogiri, Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah.

Jenis data, bahan dan alat penelitian

Data yang diperlukan adalah komponen utama satuan lahan (bentuk lahan, kemiringan lahan, jenis tanah, dan penggunaan lahan), curah hujan, karakteristik fisik tanah (tekstur, struktur, berat volume, permeabilitas tanah, drainase tanah, kandungan bahan organik), kedalaman efektif tanah, dan persebaran batuan. Data curah hujan harian

diperoleh dari stasiun pengamat curah hujan Wuryantoro, Eromoko, Manyaran dan Wonogiri tahun 1993-2003 yang bersumber dari DPU Wonogiri dan BP-DAS Solo. Bahan yang digunakan adalah peta Rupa Bumi Indonesia skala 1: 25.000 (*sheet* Wuryantoro, Eromoko dan Wonogiri), peta-peta tematik, sampel tanah hasil survei lapangan, dan alat tulis. Alat utama yang digunakan adalah : seperangkat komputer dengan software *Arc View GIS 3.3*, *Microsoft Office* dan *QSB*, GPS; *soil kit* dan *soil test kit*; dan alat-alat lapangan.

Cara penelitian

1. Identifikasi karakteristik lahan

Lahan Sub-DAS Wuryantoro diidentifikasi dalam bentuk satuan-satuan lahan (*land mapping unit*), mengacu Senawi (1997). Satuan lahan merupakan unit lahan terkecil sebagai model lahan yang digunakan untuk evaluasi lahan. Satuan lahan diperoleh melalui proses *overlay* dari peta bentuk lahan, peta kemiringan lahan, peta jenis tanah, dan peta penggunaan lahan dengan menggunakan software *Arc View GIS 3.3*. Parameter karakteristik lahan dari masing-masing satuan lahan secara lebih rinci diperoleh dari observasi lapangan dan hasil analisis laboratorium sampel tanah di Laboratorium Tanah Fakultas Geografi UGM.

2. Arahan fungsi lahan DAS

Arahan fungsi lahan (tata ruang) DAS ditentukan dengan mengacu SK Mentan No. 837/Kpts/Um/11/1980 dan Keppres RI No. 32 Tahun 1990, berdasarkan hasil skoring masing-masing satuan lahan. Parameter lahan yang dipertimbangkan adalah kemiringan lahan (bobot 20), jenis tanah dan kepekaannya terhadap erosi (bobot 15), dan intensitas curah hujan harian rata-rata (bobot 10). Hasilnya adalah arahan fungsi kawasan (tata ruang) Sub-DAS, yaitu total skor > 175 menjadi kawasan

fungsi lindung, total skor 125 - 175 menjadi kawasan fungsi penyangga, dan total skor < 125 menjadi kawasan fungsi budidaya dan pemukiman.

3. Perhitungan erosi tanah permukaan, erosi yang diperbolehkan dan tingkat bahaya erosi

Berdasarkan hasil analisa laboratorium mengenai sifat fisik dan kimia tanah kemudian dilakukan penghitungan besarnya erosi aktual dengan rumus USLE :

$$A = R K L S C P \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

A = rerata jumlah tanah yang hilang atau besarnya erosi aktual (ton/ha/th)

R = indeks erosivitas hujan

K = indeks erodibilitas tanah

LS = indeks faktor lereng

C = faktor tanaman

P = faktor pengolahan/praktek konservasi tanah

Erosivitas hujan dihitung dari curah hujan bulanan karena yang tersedia adalah data curah hujan bulanan. Penentuan harga erosivitas bulanan mengacu kepada Sarief (1986), yaitu :

$$EI_{30} = 6,119 (R_b^{1,211}) (N^{-0,474}) (R_m^{0,526}) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

EI₃₀ = rata-rata erosivitas hujan bulanan

R_b = rata-rata curah hujan bulanan dalam cm

N = rata-rata jumlah hari hujan bulanan

R_m = rata-rata curah hujan maksimum (cm) selama 24 jam pada bulan yang bersangkutan.

Data curah hujan bulanan secara keruangan diolah dengan menggunakan metode *Isohyet*. Nilai R atau rata-rata nilai indeks erosivitas hujan tahunan didapatkan dengan menjumlahkan nilai EI₃₀ masing-masing bulan dalam tahun yang bersangkutan, yaitu :

$$R = EI_{30} (Jan) + EI_{30} (Feb) + \dots + EI_{30} (Des) \dots\dots\dots (3)$$

Nilai erosi yang diperbolehkan ditentukan berdasarkan ciri fisik tanah, yakni kedalaman strata tanah dan berat volume tanah. Nilai erosi yang didapatkan dari perhitungan dibandingkan dengan nilai erosi yang diperbolehkan; apabila nilainya lebih besar berarti memerlukan tindakan lebih lanjut. Klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) mendasarkan pada parameter kedalaman solum tanah dan besarnya nilai erosi tanah aktual. Perhitungan erosi aktual, erosi yang diperbolehkan, TBE dan identifikasi kelas kemampuan lahan mengacu kepada Arsyad (1989).

4. Penentuan kelas kemampuan lahan

Klasifikasi kemampuan lahan dilakukan berdasarkan faktor-faktor pembatas lahan yang ada. Ada delapan karakteristik lahan yang dipertimbangkan, yaitu : kemiringan lahan, kepekaan erosi, tingkat erosi, kedalaman tanah, tekstur tanah, permeabilitas, drainase, dan batuan atau kerikil. Klasifikasi masing-masing faktor pembatas dan kelas kemampuan lahan mengacu kepada Arsyad (1989) dengan sedikit perubahan pada kelas kemiringan lahan, seperti pada Tabel 1.

5. Penentuan arahan penggunaan lahan optimal

Komposisi penggunaan lahan optimal diusulkan untuk meminimalkan erosi tanah dengan memanfaatkan program linier. Fungsi tujuannya adalah memaksimalkan penggunaan keseluruhan lahan Sub-

DAS dalam batasan faktor kendala berupa nilai erosi tanah yang ditoleransi. Usulan tersebut diformulasikan sebagai permasalahan program linier dengan menggunakan indeks *i* untuk merepresentasikan jenis penggunaan lahan dan variabel keputusan *X* untuk merepresentasikan prosentase luasan penggunaan lahan. Solusi yang akan didapatkan berupa sebuah set *X_i* yang mengoptimalkan penggunaan lahan dengan: *X_i* = prosentase luasan penggunaan lahan dan *i* = 1, ..., *n* (bentuk penggunaan lahan)

Formulasi model program linier permasalahan ini adalah :

$$MaxZ = \sum_{j=1}^n c_j x_j \dots\dots\dots (4)$$

Dengan fungsi kendala:

$$\sum_{j=1}^n x_j = b \dots\dots\dots (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq b \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan (4) merupakan fungsi tujuan dengan *c_j* merupakan koefisien fungsi tujuan dan semua *c_j* bernilai 1 yang berarti tidak ada pembobotan pada masing-masing penggunaan lahan. Persamaan (5) merupakan kendala luasan sub-DAS yang mengatur/ menjamin bahwa set solusi yang berupa komposisi penggunaan lahan akan menggunakan semua lahan Sub-DAS dengan simbol *b*; yang merepresentasikan

Tabel 1. Klasifikasi Kemampuan Lahan

Faktor Penghambat atau Pembatas	Kelas Kemampuan Lahan							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Kemiringan lahan	1	1	2	3	1	4	5	5
Kepekaan erosi	1, 2	3	4, 5	6	(*)	(*)	(*)	(*)
Tingkat erosi	1	1	2	3	(**)	4	5	(*)
Kedalaman tanah	1	1	2	2	(*)	3	(*)	(*)
Tekstur tanah	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	(*)	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	5
Permeabilitas	2, 3	2, 3	2, 3, 4	2, 3, 4	1	(*)	(*)	5
Drainase	1	2	3	4	5	(**)	(**)	5
Kerikil / batuan	1	1	2	3	4	(*)	(*)	5

Sumber : Arsyad, 1989 dengan sedikit perubahan
(*): dapat mempunyai sembarang sifat, (**): tidak berlaku

ketersediaan sumberdaya. Fungsi kendala lain yang digunakan diformulasikan dalam pertidaksamaan (6) yaitu kendala batas nilai erosi yang ditoleransi; besarnya erosi aktual (E_A) harus lebih kecil atau sama dengan erosi yang diperbolehkan (E_T). Metode analisis program linear yang dipakai adalah metode *simplex*, menggunakan *software* QSB (*Quantitative System For Business*). Arahan penggunaan lahan optimal akhirnya ditetapkan berdasarkan hasil optimasi luas masing-masing penggunaan lahan dan potensi masing-masing kelas kemampuan lahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

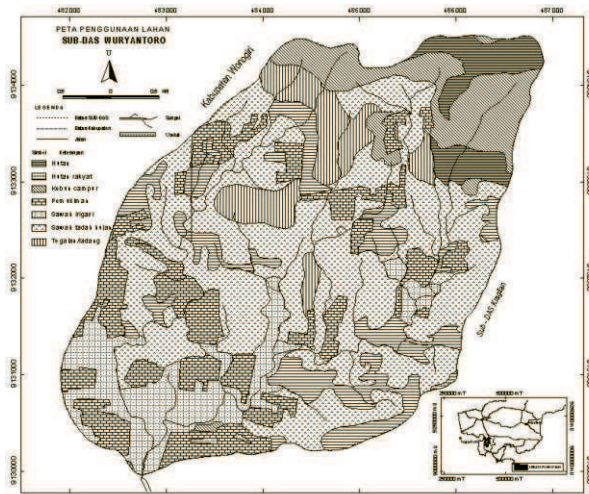
Karakteristik satuan lahan dan arahan fungsi kawasan

Topografi dan kemiringan lahan Sub-DAS Wuryantoro dapat diklasifikasi menjadi datar (640,49 ha atau 37,12%), landai (226,17 ha atau 24,39%), agak curam (174,329 ha atau 18,34%), curam (201,788 ha atau 15,48%), dan sangat curam (61,02 ha atau 4,68%). Jenis batumannya sama yaitu batuan kapur atau karst, namun dapat dibedakan berdasarkan persebaran dan jumlahnya, yaitu karst sedikit dan tidak merata seluas 702,34 ha (53,87%) serta karst banyak dan merata seluas 601,45 ha (46,13%). Bahan induk tanahnya adalah batuan kapur dan dolomit. Jenis tanahnya adalah asosiasi litosol mediteran coklat (322,34 ha atau 24,72%), kompleks litosol grumusol kelabu tua (833,64 ha atau 63,94%), dan grumusol (147,82 ha atau 11,34%).

Sub-DAS Wuryantoro memiliki intensitas curah hujan rendah (13,6 - 20,7 mm/hr) seluas 245,01 ha (18,79%) dan intensitas curah hujan sedang (> 20,7 - 27,7 mm/hr) seluas 1.058,78 ha (81,21%). Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Smith dan Ferguson, kawasan ini memiliki nilai $Q = 0,667$ sehingga termasuk beriklim D, yaitu iklim yang

berada pada daerah sedang dengan vegetasi hutan musim.

Jenis penggunaan lahan aktual Sub-DAS Wuryantoro dapat diklasifikasi menjadi pemukiman, sawah irigasi, sawah tadah hujan, hutan rakyat, kebun campuran, tegalan, dan hutan produksi. Pemukiman dan pekarangan seluas 216,38 ha (16,60%). Sawah irigasi seluas 144,30 ha (11,07%). Sawah tadah hujan seluas 523,29 ha (40,14%). Luas hutan rakyat 151,47 ha (11,62%). Luas kebun campuran 115,12 ha (8,83%). Tegalan seluas 93,34 ha (7,16%). Hutan produksi seluas 59,909 ha (4,59%). Distribusi penggunaan lahan secara aktual tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. Penggunaan Lahan Aktual Sub-DAS Wuryantoro

Berdasarkan karakteristik biogeofisik lahan yang ada, Sub-DAS Wuryantoro dapat diidentifikasi menjadi 32 satuan lahan. Satuan lahan ini merupakan model spasial ekologis lahan yang memiliki keseragaman bentuk lahan, kemiringan lahan, jenis tanah, dan bentuk penggunaan lahan saat ini. Dari analisis tiga faktor lahan yang dipertimbangkan dalam penetapan fungsi lahan diketahui bahwa luas lahan yang termasuk fungsi kawasan lindung adalah 246,59 ha (18,91%) dengan bentuk penggunaan

lahan berupa pemukiman, hutan rakyat, kebun campur, tegalan dan hutan. Kawasan lindung ini berada di Desa Sendang, Bero dan Gumiwang Lor. Luas lahan yang termasuk fungsi kawasan penyangga adalah 532,34 ha (40,83%) dengan bentuk penggunaan lahan berupa pemukiman, kebun campur, sawah tadah hujan, tegalan dan hutan rakyat. Kawasan penyangga ini terletak di Desa Bero, Gumiwang Lor dan Pulutan Wetan. Luas lahan yang termasuk fungsi kawasan budidaya dan permukiman adalah 524,862 ha (40,26%) dengan bentuk penggunaan lahan berupa pemukiman, sawah tadah hujan, sawah irigasi, kebun campur dan hutan rakyat, yang berada di Desa Bero, Gumiwang Lor dan Mlopoharjo. Rincian satuan lahan dan arahan fungsi kawasan untuk masing-masing satuan lahan tersaji pada Tabel 2.

Erosi tanah permukaan dan tingkat bahaya erosi

Perhitungan erosi tanah permukaan aktual dilakukan pada setiap satuan lahan. Besarnya erosi ini menggambarkan nilai erosi Sub-DAS Wuryantoro per ha per tahun dan akan menjadi dasar pertimbangan dalam arahan penggunaan lahan sebagai pengontrol dari arahan fungsi kawasan. Penghitungan erosi ini mempertimbangkan faktor erosivitas, erodibilitas, kemiringan lahan, pola tanam dan praktek konservasi. Besarnya erosi pada masing-masing satuan lahan tersaji pada Tabel 3.

Besarnya erosi setiap tahun menjadi acuan untuk menentukan apakah erosi yang terjadi dikategorikan pada erosi yang masih diperbolehkan atau tidak. Penentuan batas maksimal besarnya erosi yang masih ditoleransi (T) ini ditentukan dengan mempertimbangkan kedalaman tanah dan berat volume tanah (BV). Nilai T dan TBE masing-masing satuan lahan dapat dilihat pada Tabel 4. Satuan lahan yang erosinya di bawah batas erosi maksimal ada delapan satuan dan bentuk penggunaan lahannya berupa sawah

irigasi dan hutan rakyat. Satuan lahan yang mempunyai nilai erosi di atas nilai maksimal ada 24 satuan dan yang paling besar adalah pada penggunaan lahan sawah tadah hujan.

Kelas kemampuan lahan Sub-DAS Wuryantoro

Pengelompokan satuan lahan ke dalam kelas kemampuan lahan didasarkan atas intensitas faktor

Tabel 2. Satuan Lahan dan Arahan Fungsi Kawasan Sub-DAS Wuryantoro

No	Satuan Lahan	Fungsi Kaw.	L - ha
1	K1 I Grum Pp	K.Budidaya	10,64
2	K1 I Grum Sth	K.Budidaya	104,16
3	K1 I Grum Si	K.Budidaya	13,23
4	K1 I Kligkt Hr	K.Budidaya	52,53
5	K1 I Kligkt Pp	K.Budidaya	131,81
6	K1 I Kligkt Sth	K.Budidaya	40,46
7	K1 I Kligkt Si	K.Budidaya	131,07
8	K1 II Grum Hr	K.Budidaya	19,79
9	K1 II Kligkt Hr	K.Budidaya	19,43
10	K1 II Kligkt Kc	K.Budidaya	1,75
11	K1 II Kligkt Pp	K.Penyangga	14,29
12	K1 II Kligkt Sth	K.Penyangga	155,88
13	K1 II Kligkt Tg	K.Penyangga	7,35
14	K2 II Kligkt Hr	K.Penyangga	11,55
15	K2 II Kligkt Pp	K.Penyangga	11,65
16	K2 II Kligkt Sth	K.Penyangga	62,74
17	K2 II Kligkt Tg	K.Penyangga	13,52
18	K2 III Alimc Pp	K.Penyangga	1,49
19	K2 III Alimc Sth	K.Penyangga	74,26
20	K2 III Kligkt Hr	K.Penyangga	24,78
21	K2 III Kligkt Kc	K.Penyangga	0,26
22	K2 III Kligkt Pp	K.Penyangga	39,52
23	K2 III Kligkt Sth	K.Penyangga	85,79
24	K2 III Kligkt Tg	K.Penyangga	13,04
25	K2 IV Kligkt Hr	K.Penyangga	7,88
26	K2 IV Kligkt Tg	K.Penyangga	8,33
27	K2 IV Alimc Hr	K.Lindung	112,01
28	K2 IV Alimc Kc	K.Lindung	15,50
29	K2 IV Alimc Pp	K.Lindung	6,97
30	K2 IV Alimc Tg	K.Lindung	51,10
31	K2 V Alimc Ht	K.Lindung	59,91
32	K2 V Alimc Kc	K.Lindung	1,11

Sumber : Hasil analisis basis data spasial

Keterangan satuan lahan :

K1 : Jenis batuan karst tidak merata;

K2 : Jenis batuan karst merata

I - V: Kelas kemiringan lahan

Kligkt : Jenis tanah Kompleks litosol grumusol kelabu tua;

Alimc : Jenis tanah Asosiasi litosol mediteran coklat;

Grum : Jenis tanah Grumusol

Pp : Penggunaan lahan pemukiman dan pekarangan;

Sh : Sawah tadah hujan; Si : Sawah irigasi;

Tg : Tegalan; Kc : Kebun; Kc : Kebun campur;

Hr : Hutan rakyat; Ht : Hutan.

Tabel 3. Nilai Erosi Tanah Permukaan Sub-DAS Wuryantoro

No	Satuan Lahan	R (ton/ha/ta)	K	LS	C	P	A (ton/ha/th)	Luas (ha)	A Total (ton/th)
1	K1 I Grum Pp	1692.910	0.199	0.4	0.5	0.04	2.696	10,64	28.681
2	K1 I Grum Sh	1695.910	0.294	0.4	0.5	0.35	34.950	104,16	3640.297
3	K1 I Grum Si	1687.964	0.291	1.4	0.01	0.35	2.406	13,23	31.842
4	K1 I Kligkt Hr	1686.044	0.146	3.1	0.001	0.04	0.031	52,53	1.606
5	K1 I Kligkt Pp	1692.910	0.199	0.4	0.5	0.04	2.696	131,81	355.313
6	K1 I Kligkt Sh	1695.910	0.294	0.4	0.5	0.06	5.592	40,46	226.256
7	K1 I Kligkt Si	1687.964	0.291	1.4	0.01	0.35	2.406	131,07	315.406
8	K1 II Grum Hr	1686.044	0.146	3.1	0.001	0.04	0.031	19,79	0.605
9	K1 II Kligkt Hr	1707.750	0.146	3.1	0.001	0.04	0.031	19,43	0.601
10	K1 II Kligkt Kc	1675.027	0.292	1.4	0.1	0.15	10.276	1,75	17.931
11	K1 II Kligkt Pp	1692.910	0.199	0.4	0.5	0.04	2.696	14,29	38.520
12	K1 II Kligkt Sh	1709.977	0.294	0.4	0.5	0.35	35.240	155,88	5493.191
13	K1 II Kligkt Tg	1703.301	0.194	0.4	0.195	0.4	10.320	7,35	75.838
14	K2 II Kligkt Hr	1727.370	0.354	3.1	0.001	0.04	0.076	11,55	0.875
15	K2 II Kligkt Pp	1718.019	0.373	3.1	0.5	0.04	39.684	11,65	462.475
16	K2 II Kligkt Sh	1722.642	0.104	3.1	0.5	0.35	97.065	62,74	6089.934
17	K2 II Kligkt Tg	1719.108	0.357	3.1	0.195	0.4	148.545	13,52	2007.885
18	K2 III Alimc Pp	1737.473	0.329	6.8	0.5	0.04	77.682	1,49	115.669
19	K2 III Alimc Sh	1734.782	0.299	3.1	0.5	0.35	281.487	74,26	20902.678
20	K2 III Kligkt Hr	1720.560	0.354	3.1	0.001	0.04	0.075	24,78	1.870
21	K2 III Kligkt Kc	1724.875	0.354	3.1	0.1	0.04	7.566	0,26	1.967
22	K2 III Kligkt Pp	1725.038	0.373	3.1	0.5	0.04	39.846	39,52	1574.750
23	K2 III Kligkt Sh	1721.488	0.104	3.1	0.5	0.15	41.571	85,79	3566.358
24	K2 III Kligkt Tg	1719.108	0.513	3.1	0.195	0.4	213.075	13,04	2778.713
25	K2 IV Alime Hr	1730.955	0.343	6.8	0.001	0.4	1.613	7,88	180.621
26	K2 IV Alimc Kc	1747.369	0.343	6.8	0.1	0.4	162.788	8,33	2523.858
27	K2 IV Alime Pp	1737.473	0.329	6.8	0.5	0.15	291.308	112,01	2030.128
28	K2 IV Alimc Tg	1733.152	0.348	6.8	0.195	0.4	319.844	15,50	16343.409
29	K2 IV Kligkt Hr	1725.316	0.354	3.1	0.001	0.04	0.076	6,97	0.596
30	K2 IV Kligkt Tg	1734.661	0.357	3.1	0.195	0.4	149.889	51,10	1248.875
31	K2 V Alimc Ht	1750.467	0.326	9.4	0.005	0.35	9.393	59,91	562.740
32	K2 V Alimc Kc	1733.152	0.343	6.8	0.1	0.4	161.463	1,11	178.578
	Total							1.303,79	70798.070

Sumber : Hasil analisis basis data karakteristik biofisik lahan.

penghambat. Jenis faktor penghambat yang utama adalah ancaman erosi, ancaman kelebihan air, pembatas perkembangan akar dan pembatas iklim. Prioritas faktor penentu adalah kelerengan dan ancaman erosi yang dinilai dari kedalaman efektif tanah, indeks kepekaan erosi dan tingkat bahaya

erosi. Hal ini dimaksudkan untuk menyederhanakan faktor penghambat yang jumlahnya sangat banyak. Hasil klasifikasi kelas kemampuan lahan masing-masing satuan lahan tersaji pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 dapat diketahui bahwa Sub-DAS Wuryantoro memiliki tujuh kelas kemampun lahan,

Tabel 4. Nilai Erosi yang Diperbolehkan (T) dan Tingkat Bahaya Erosi

No	Satuan Lahan	Kedalaman Tanah (cm)	BV	T Tetap (mm/th)	T Max (ton/ha/th)	A (ton/ha/th)	TBE
1	K1 I Grum Pp	100	0.971	1.6	1.553	2.696	SR
2	K1 I Grum Sh	62	1.569	1.6	2.511	34.950	S
3	K1 I Grum Si	50	1.230	1.2	1.476	2.406	S
4	K1 I Kligkt Hr	100	0.895	2	1.791	0.031	SR
5	K1 I Kligkt Pp	100	0.971	2	1.942	2.696	SR
6	K1 I Kligkt Sh	62	1.569	2	3.139	5.592	R
7	K1 I Kligkt Si	50	1.230	1.2	1.476	2.406	S
8	K1 II Grum Hr	100	0.895	2	1.791	0.031	SR
9	K1 II Kligkt Hr	100	0.895	2	1.791	0.031	SR
10	K1 II Kligkt Kc	100	1.027	2	2.055	10.276	SR
11	K1 II Kligkt Pp	100	0.971	2	1.942	2.696	SR
12	K1 II Kligkt Sh	62	1.569	2	3.139	35.240	R
13	K1 II Kligkt Tg	50	0.858	1.2	1.029	10.320	S
14	K2 II Kligkt Hr	100	0.759	2	1.517	0.076	SR
15	K2 II Kligkt Pp	50	0.627	1.2	0.752	39.684	B
16	K2 II Kligkt Sh	40	2.399	1.2	2.878	97.065	SB
17	K2 II Kligkt Tg	100	0.716	2	1.433	148.545	S
18	K2 III Alime Pp	100	0.928	2	1.857	77.682	S
19	K2 III Alime Sh	62	2.578	2	5.156	281.487	SB
20	K2 III Kligkt Hr	100	0.759	2	1.517	0.075	SR
21	K2 III Kligkt Kc	100	0.759	2	1.517	7.566	SR
22	K2 III Kligkt Pp	50	0.627	2	1.254	39.846	B
23	K2 III Kligkt Sh	40	2.399	2	4.797	41.571	B
24	K2 III Kligkt Tg	100	0.716	2	1.433	213.075	B
25	K2 IV Alime Hr	100	1.291	1.6	2.066	1.613	SR
26	K2 IV Alime Kc	100	1.291	1.6	2.066	162.788	S
27	K2 IV Alime Pp	100	0.928	1.6	1.485	291.308	B
28	K2 IV Alime Tg	62	0.877	1.6	1.402	319.844	SB
29	K2 IV Kligkt Hr	100	0.759	1.6	1.214	0.076	SR
30	K2 IV Kligkt Tg	100	0.716	1.6	1.146	149.889	S
31	K2 V Alime Ht	100	1.329	1.6	2.126	9.393	SR
32	K2 V Alime Kc	100	1.291	1.6	2.066	161.463	S

Sumber : Hasil analisis basis data karakteristik biofisik lahan

mulai lahan kelas II sampai dengan VIII, tanpa kelas kemampuan lahan I. Lahan dengan kelas kemampuan II seluas 10,64 ha (0,82%), lahan kelas III seluas 259,89 ha (19,93%), lahan kelas IV seluas 311,38 ha (23,88%), lahan kelas V seluas 203,85 ha (15,64%), lahan kelas VI seluas 58,52 ha (4,49%), lahan kelas VII seluas 323,24 ha (24,79%), dan lahan kelas VIII seluas 136 ha (10,45%). Faktor pembatas kemampuan lahan yang dominan adalah tingkat bahaya erosi, batuan dan kerikil, kemiringan lahan, permeabilitas dan drainase.

Arahan penggunaan lahan Sub-DAS Wuryantoro

Arahan penggunaan lahan ini mendasarkan kepada arahan fungsi kawasan, TBE, kelas kemampuan lahan, melalui program linear dengan metode simplex. Fungsi tujuan dalam analisis program linear ini adalah mengoptimalkan dengan cara maksimumkan penggunaan lahan saat ini beserta luasannya. Fungsi kendala yang dipakai dalam analisis ini adalah luas lahan aktual dan nilai erosi potensial. Hasil analisa arahan penggunaan lahan yang ditawarkan adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Karakteristik Satuan Lahan dan Kelas Kemampuan Lahan Sub-DAS Wuryantoro

No.	Satuan Lahan	Karakteristik Satuan Lahan								Kemampuan Lahan		Luas ha
		K L	E T	T E	K T	T T	P T	DT	BK	KKL	Pembatas	
1	K1 I Grum Pp	1	2	1	1	2	4	5	4	II	DT, BK, PT	10,64
2	K1 I Grum Sh	1	2	3	2	2	4	5	2	IV	DT, PT, TBE	104,16
3	K1 I Grum Si	1	2	2	3	3	4	5	2	IV	DT, KT, PT	13,23
4	K1 I Kligkt Hr	1	2	1	1	2	4	3	1	III	PT, DT	52,53
5	K1 I Kligkt Pp	1	2	1	1	2	4	3	4	V	BK	131,81
6	K1 I Kligkt Sh	1	2	2	2	2	4	3	2	III	PT, DT, BK	40,46
7	K1 I Kligkt Si	1	3	2	3	3	4	3	2	III	PT, DT, BK	131,07
8	K1 II Grum Hr	2	2	1	1	2	4	3	1	III	PT, DT	19,79
9	K1 II Kligkt Hr	2	3	1	1	2	4	3	4	V	BK	19,43
10	K1 II Kligkt Kc	2	3	1	1	3	4	3	2	III	PT, DT, BK	1,75
11	K1 II Kligkt Pp	2	3	1	1	2	4	3	1	III	PT, DT	14,29
12	K1 II Kligkt Sh	2	2	3	2	2	4	3	3	IV	BK	155,88
13	K1 II Kligkt Tg	2	3	5	3	4	4	3	4	VI	TBE	7,35
14	K2 II Kligkt Hr	2	2	1	1	4	4	3	3	IV	BK	11,55
15	K2 II Kligkt Pp	2	3	5	3	3	4	3	3	VI	TBE	11,65
16	K2 II Kligkt Sh	2	2	6	3	1	4	3	1	VII	TBE	62,74
17	K2 II Kligkt Tg	2	4	3	1	2	4	3	3	IV	BK	13,52
18	K2 III Alime Pp	3	3	3	1	3	4	2	4	V	BK	1,49
19	K2 III Alime Sh	3	2	6	2	3	4	2	4	VII	TBE	74,26
20	K2 III Kligkt Hr	3	2	6	1	4	4	3	3	VII	TBE	24,78
21	K2 III Kligkt Kc	3	4	6	1	4	4	3	3	VII	TBE	0,26
22	K2 III Kligkt Pp	3	4	5	3	3	4	3	3	VI	TBE	39,52
23	K2 III Kligkt Sh	3	5	6	3	1	4	3	1	VII	TBE	85,79
24	K2 III Kligkt Tg	3	2	3	1	2	4	3	3	IV	BK	13,04
25	K2 IV Alime Hr	4	2	6	1	4	4	2	5	VIII	BK	7,88
26	K2 IV Alime Kc	4	2	3	1	4	4	2	5	VIII	BK	8,33
27	K2 IV Alime Pp	4	3	5	1	3	4	2	5	VIII	BK	112,01
28	K2 IV Alime Tg	4	2	6	2	3	4	2	4	VII	TBE	15,50
29	K2 IV Kligkt Hr	4	2	6	1	4	4	3	5	VIII	BK	6,97
30	K2 IV Kligkt Tg	4	2	3	1	2	4	3	3	V	KL	51,10
31	K2 V Alime Ht	4	2	6	1	2	4	2	3	VII	TBE	59,91
32	K2 V Alime Kc	5	2	3	1	4	4	2	4	VIII	KL	1,11

Sumber : Hasil analisis basis data karakteristik biofisik lahan

Keterangan :

Karakteristik satuan lahan / Pembatas : KL = kemiringan lahan, ET = erodibilitas tanah, TE = tingkat erosi terjadi, KT = kedalaman tanah, TT = tekstur tanah, PT = permeabilitas tanah, DT = drainase, dan BK = batuan/kerikil, KKL = Kelas kemampuan lahan, II sampai VIII

1. Kawasan lindung

Fungsi tujuannya adalah mengoptimalkan luas lahan saat ini menggunakan maksimalisasi, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Maksimalkan } Z = 59,909 \text{ Ht} + 112,007 \text{ Hr} + 6,969 \text{ Pp} + 51,098 \text{ Tg} + 16,610 \text{ Kc}$$

Fungsi kendala yang digunakan adalah :

$$\text{a. } 59,909 \text{ Ht} + 112,007 \text{ Hr} + 6,969 \text{ Pp} + 51,098 \text{ Tg} + 16,610 \text{ Kc} \leq 246,593$$

$$\text{b. } 345,018 \text{ Ht} + 54,773 \text{ Hr} + 2030,13 \text{ Pp} + 9394,51 \text{ Tg} + 1578,040 \text{ Kc} \leq 475,121$$

Dengan Z = komposisi bentuk penggunaan lahan secara optimal (yang menjadi tujuan), Ht = hutan negara, Hr = hutan rakyat, Pp = permukiman, Tg = tegalan, dan Kc = kebun campur. Kendala pertama (a) adalah luas lahan aktual yang nilainya kurang dari atau sama dengan keadaan sekarang, sedangkan kendala kedua (b) adalah nilai erosi potensial yang nilainya kurang dari atau sama dengan nilai erosi total yang diperbolehkan. Hasil yang didapat ternyata penggunaan lahan yang paling optimal adalah hutan secara keseluruhan.

Dengan mempertimbangkan kemampuan lahan maka penggunaan lahan yang disarankan adalah untuk hutan negara seluas 59,909 ha, hutan rakyat seluas 179,715 ha, dengan mengakomodir pemukiman dan pekarangan yang sudah ada seluas 6,969 ha. Penggunaan lahan pemukiman dan pekarangan serta hutan negara harus memperhatikan aspek konservasi terutama faktor C dan P agar nilai erosi dapat dikendalikan. Arahkan perubahan bentuk penggunaan lahan pada kawasan lindung tersaji pada Tabel 6.

2. Kawasan penyangga

Fungsi tujuannya adalah optimalisasi penggunaan lahan yang ada saat ini berdasarkan luas aktual, rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Maksimalkan } Z = 44,214 \text{ Ht} + 66,954 \text{ Pp} + 42,239 \text{ Tg} + 0,260 \text{ Kc} + 378,669 \text{ Sh}$$

Fungsi kendala yang digunakan adalah :

$$\text{a. } 44,214 \text{ Hr} + 66,954 \text{ PP} + 42,239 \text{ Tg} + 0,260 \text{ Kc} + 378,669 \text{ Sh} \leq 532,336$$

$$\text{b. } 1,652 \text{ Hr} + 2018,030 \text{ PP} + 3822,570 \text{ Tg} + 1,905 \text{ Kc} + 40378,65 \text{ Sh} \leq 1645,570$$

Dengan Z = komposisi bentuk penggunaan lahan secara optimal (yang menjadi tujuan), Hr = hutan rakyat, Pp = permukiman, Tg = tegalan, Kc = kebun campur, dan Sh = sawah tadah hujan. Kendala pertama (a) adalah luas lahan aktual yang nilainya kurang dari atau sama dengan keadaan sekarang, sedangkan kendala kedua (b) adalah nilai erosi potensial yang nilainya kurang dari atau sama dengan nilai erosi total yang diperbolehkan. Hasil yang didapat ternyata penggunaan lahan yang paling optimal adalah hutan rakyat secara keseluruhan.

Dengan mempertimbangkan kemampuan lahan maka penggunaan lahan yang disarankan adalah untuk hutan rakyat seluas 86,713 ha dan mengakomodir pemukiman dan pekarangan seluas 66,954 ha serta sawah tadah hujan seluas 378,669 ha. Untuk penggunaan lahan pemukiman, pekarangan dan sawah tadah hujan harus memperhatikan aspek konservasi terutama faktor C dan P agar nilai erosi dapat dikendalikan. Arahkan perubahan bentuk penggunaan lahan pada kawasan penyangga tersaji pada Tabel 6.

3. Kawasan budidaya

Fungsi tujuannya adalah optimalisasi penggunaan lahan yang ada saat ini berdasarkan luas aktual, rumusnya yang digunakan adalah :

$$\text{Maksimalkan } Z = 91,747 \text{ Hr} + 142,453 \text{ Pp} + 1,745 \text{ Kc} + 144,619 \text{ Sh} + 144,298 \text{ Si}$$

Fungsi kendala yang digunakan adalah :

Tabel 6. Arahana Bentuk Penggunaan Lahan Optimal Pengendali Erosi Tanah Permukaan Di Sub-DAS Wuryantoro DAS Solo

No	Satuan Lahan	Luas (ha)	Fungsi Kawasan	TBE	KKL	Penggunaan Lahan		Keterangan
						Saat Ini	Arahana	
1	K1 I Grum Pp	10,64	K.Budidaya	SR	II	Pp	Pp	Tetap
2	K1 I Grum Sh	104,16	K.Budidaya	S	IV	Sh	Sh	Tetap
3	K1 I Grum Si	13,23	K.Budidaya	S	IV	Si	Si	Tetap
4	K1 I Kligkt Hr	52,53	K.Budidaya	SR	III	Hr	Hr	Tetap
5	K1 I Kligkt Pp	131,81	K.Budidaya	SR	V	Pp	Pp	Tetap
6	K1 I Kligkt Sh	40,46	K.Budidaya	R	III	Sh	Sh	Tetap
7	K1 I Kligkt Si	131,07	K.Budidaya	S	III	Si	Si	Tetap
8	K1 II Grum Hr	19,79	K.Budidaya	SR	III	Hr	Hr	Tetap
9	K1 II Kligkt Hr	19,43	K.Budidaya	SR	V	Hr	Hr	Tetap
10	K1 II Kligkt Kc	1,75	K.Budidaya	SR	III	Kc	Hr	Ubah
11	K1 II Kligkt Pp	14,29	K.Penyangga	SR	III	Pp	Pp	Tetap
12	K1 II Kligkt Sh	155,88	K.Penyangga	R	IV	Sh	Sh	Tetap
13	K1 II Kligkt Tg	7,35	K.Penyangga	S	VI	Tg	Hr	Ubah
14	K2 II Kligkt Hr	11,55	K.Penyangga	SR	IV	Hr	Hr	Tetap
15	K2 II Kligkt Pp	11,65	K.Penyangga	B	VI	Pp	Pp	Tetap
16	K2 II Kligkt Sh	62,74	K.Penyangga	SB	VII	Sh	Sh	Tetap
17	K2 II Kligkt Tg	13,52	K.Penyangga	S	IV	Tg	Hr	Ubah
18	K2 III Alimc Pp	1,49	K.Penyangga	S	V	Pp	Pp	Tetap
19	K2 III Alimc Sh	74,26	K.Penyangga	SB	VII	Sh	Sh	Tetap
20	K2 III Kligkt Hr	24,78	K.Penyangga	SR	VII	Hr	Hr	Tetap
21	K2 III Kligkt Kc	0,26	K.Penyangga	SR	VII	Kc	Hr	Ubah
22	K2 III Kligkt Pp	39,52	K.Penyangga	B	VI	Pp	Pp	Tetap
23	K2 III Kligkt Sh	85,79	K.Penyangga	B	VII	Sh	Sh	Tetap
24	K2 III Kligkt Tg	13,04	K.Penyangga	B	IV	Tg	Hr	Ubah
25	K2 IV Kligkt Hr	7,88	K.Penyangga	SR	VIII	Hr	Hr	Tetap
26	K2 IV Kligkt Tg	8,33	K.Penyangga	S	VIII	Tg	Hr	Ubah
27	K2 IV Alimc Hr	112,01	K.Lindung	B	VIII	Hr	Hr	Tetap
28	K2 IV Alimc Kc	15,50	K.Lindung	SB	VII	Kc	Hr	Ubah
29	K2 IV Alimc Pp	6,97	K.Lindung	SR	VIII	Pp	Pp	Tetap
30	K2 IV Alimc Tg	51,10	K.Lindung	S	V	Tg	Hr	Ubah
31	K2 V Alimc Ht	59,91	K.Lindung	SR	VII	Ht	Ht	Tetap
32	K2 V Alimc Kc	1 11	K.Lindung	S	VIII	Kc	Hr	Ubah

Sumber : Hasil analisis basis data dan optimasi penggunaan lahan dengan *software* QSB.

Keterangan :

Tingkat bahaya erosi : SR = tidak ada sampai sangat ringan, R = ringan, S = sedang, B = berat, dan SB = sangat berat.

Penggunaan lahan : Ht = hutan negara, Hr = Hutan rakyat, Kc = Kebun campur,

Tg = Tegalan/ladang, Sh = Sawah tadah hujan, Si = Sawah irigasi, Pp = Pemukiman dan pekarangan

$$a. 91,747 Hr + 142,453 Pp + 1,745 Kc + 144,619 Sh + 144,298 Si \leq 524,862$$

$$b. 4,224 Hr + 289,663 Pp + 16,963 Kc + 1961,39 Sh + 338,465 Si \leq 1041,830$$

Dengan Z = komposisi bentuk penggunaan lahan secara optimal (yang menjadi tujuan), Hr = hutan rakyat, Pp = permukiman, Tg = tegalan, Kc = kebun campur, Sh = sawah tadah hujan, dan Si = sawah irigasi. Kendala pertama (a) adalah luas lahan aktual yang nilainya kurang dari atau sama dengan keadaan

sekarang, sedangkan kendala kedua (b) adalah nilai erosi potensial yang nilainya kurang dari atau sama dengan nilai erosi total yang diperbolehkan. Hasil yang didapat ternyata penggunaan lahan yang paling optimal adalah hutan rakyat dan pemukiman. Namun dengan mempertimbangkan kemampuan lahan, ternyata semua bentuk penggunaan lahan yang ada sekarang masih dapat diusahakan. Arahana penggunaan lahan yang disarankan adalah memper-

pekarangan dan pemukiman seluas 142,45 ha (10,93%), kebun campuran seluas 1,75 ha (0,13%), sawah tadah hujan seluas 144,62 ha (11,09%) dan sawah irigasi seluas 144,30 ha (11,07%). Dengan arahan penggunaan lahan ini maka erosi tanah aktual tidak akan melebihi batas toleransi dan ini berarti dapat meningkatkan daya dukung lahan dan kesuburan tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini. Secara khusus, ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Sutikno, Prof. Dr. Totok Gunawan, dan Dr. Ir. Agus Setyarso selaku pembimbing, serta kepada Sdr. Iis Amah S.Hut., Edi Yanto, S.Hut., dan Susanto, A.Md. yang telah membantu teknis penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB, Bogor.
- Bocco G, Velazquez A, Siebe C. 2005. Using geomorphologic mapping to strengthen natural resource management in developing countries. The case of rural indigenous communities in Michoacan, Mexico. *Catena* 60 (2005) 239-253. Available online at www.sciencedirect.com
- Ka'ban MS. 2006. *Arahan Kebijakan Pembangunan Kehutanan dalam Penanganan Kawasan Hutan dan Lahan yang Tidak Produktif*. Key Note Speech Menteri Kehutanan. Seminar Nasional Arahan Pembentukan Unit Manajemen, Kelembagaan Kawasan Kelola, dan Pengembangan Sumberdaya Manusia dalam Program GNRHL. Yogyakarta, 29-30 Agustus 2006.
- Kodoatie RJ & Sugiyanto. 2002. *Banjir beberapa penyebab dan metode pengendaliannya dalam perspektif lingkungan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Kompas. 2004. 24 *Daerah Aliran Sungai di Jateng kritis*. Harian Kompas, Rubrik Nusantara, 23 November 2004.
- Menteri Kehutanan dan Perkebunan RI. 1999. *Keputusan Menteri Kehutanan dan Perkebunan No. 284/Kpts-II/1999 tentang Penetapan Urutan Prioritas Daerah Aliran Sungai*. Jakarta.
- Menteri Pertanian RI. 1980. *Keputusan Menteri Pertanian No. 837/Kpts/Um/11/1980 tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Hutan Lindung*. Jakarta.
- Presiden RI. 1990. *Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 tentang Pengelolaan Kawasan Lindung*. Jakarta.
- Sarief. 1986. *Konservasi Tanah dan Air*. Pustaka Buana, Bandung.
- Senawi. 1997. *Identifikasi Sistem Lahan dan Kesesuaian Lahan Hutan dengan Teknik Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis*. Tesis. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.