

# Aplikasi Model Optimasi *Linear Goals Programming* Dalam Menentukan Pola Penggunaan Lahan Optimal Di Das Citarum Hulu

## *Application of Linear Goals Programming Optimization Models in Determining The Optimal Configuration of Land Use at The Upper Citarum Watershed*

Omo Rusdiana<sup>1</sup> dan R. Rodlyan Ghufrona<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, IPB

### ABSTRACT

Various natural disasters such as floods and landslides that much happening at this time caused by environmental damage, especially upper watershed damage. Actual land use of forests in the Upper Citarum Watershed area is only 16.20%, still not meet the minimum area of forest (30%) base on UU No. 41/1999 about Forestry. Actual land use configuration in study site causes most of the region is dominated by the level of erosion hazard very heavy; total RTH covering 76.75% total study site; and approximately 58.25% of farmer households unable to meet minimum standards for decent living needs. By applying a multiple target linear optimization model *Linear Goals Programming (LGP)* that solved by *General Algebraic Modeling System (GAMS)* optimization software, recommended the optimal configuration of land use that can meet the ecological and economic objectives. These recommendations can decrease the erosion rate of 94.13% and reaching 72.97% areas that meet standards of TSL; reaching an area covering 87.39% of RTH; and increasing aggregate sector of food crops, plantations, and forestry farm household income amount 220.83%. Optimization model in this study are static models that do not pay attention to time, but this models produces marginal values and we can analyze the value of elasticity (*Sensitivity Analysis*) that can be known implications for optimization purposes in case of changes in conditions of objective optimization.

**Keywords:** erosion, farm households income, land use, linear goals programming, optimization model

### PENDAHULUAN

Berbagai kejadian bencana alam seperti banjir dan longsor yang banyak terjadi saat ini diakibatkan oleh kerusakan lingkungan terutama kerusakan hulu suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Salah satu penyebab dari masalah tersebut ialah tidak optimalnya penggunaan lahan dan tutupan hutan terutama di kawasan hulu suatu DAS, yang seharusnya memiliki luasan hutan minimal 30% (UU Kehutanan No. 41 Tahun 1999).

Salah satu kawasan yang memiliki masalah kerusakan lingkungan yang besar di Indonesia ialah DAS Citarum yang merupakan salah satu DAS Kategori I atau membutuhkan penanganan serius karena kondisinya sangat kritis. Kawasan hulu DAS Citarum memiliki peran yang besar sebagai sistem perlindungan dan penyangga kehidupan sehingga keberadaannya perlu dikelola dengan baik agar peran tersebut tetap berfungsi secara lestari. Menurut Sunarti (2008), kerusakan di bagian hulu tidak hanya mempunyai efek yang bersifat *on site* tetapi juga menyebabkan efek yang bersifat *off site* atau kerusakan di bagian hilir. Efek dari kerusakan lingkungan dapat berdampak terhadap menurunnya ekonomi penduduk dari suatu lokasi bahkan dapat berdampak meningkatnya kemiskinan. Oleh karena

itu, perlu dilakukan penatagunaan lahan yang optimal di DAS Citarum bagian hulu yang memperhatikan aspek ekologi dan ekonomi sehingga kawasan hulu dapat berfungsi secara optimal dan berkelanjutan sebagai suatu kawasan lindung namun tetap memperhatikan aspek kesejahteraan rakyat, dalam hal ini ialah petani sebagai pengelola dan pemelihara lahan dalam mengelola kawasan budidaya.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan kondisi erosi, ruang terbuka hijau, dan pendapatan rumah tangga tani aktual yang diakibatkan penggunaan lahan aktual di DAS Citarum Hulu
2. Merekomendasikan pola penggunaan lahan dan pola areal budidaya tanaman optimal di DAS Citarum Hulu yang dapat memenuhi sasaran ekologi dan ekonomi dengan mengaplikasikan model optimasi sasaran ganda (*Linear Goals Programming*)
3. Menentukan implikasi rekomendasi pola penggunaan lahan dan pola areal budidaya tanaman optimal terhadap erosi, ruang terbuka hijau, dan pendapatan rumah tangga tani
4. Menentukan elastisitas dampak peningkatan erosi terhadap pendapatan rumah tangga tani melalui analisis sensitivitas model.

## BAHAN DAN METODE

**Waktu dan Lokasi Penelitian.** Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan (Desember 2009-Mei 2010) di Laboratorium Pengaruh Hutan, Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Wilayah studi yang dikaji dalam penelitian ini yaitu DAS Citarum Hulu yang terdiri atas 5 Sub-DAS yaitu Cikapundung, Citarik, Cirasea, Cisangkuy, dan Ciwidey yang mencakup 7 kabupaten/kota yaitu Kab. Bandung, Kab. Bandung Barat, Kab. Garut, Kab. Subang, Kab. Sumedang, Kota Bandung, dan Kota Cimahi.

**Alat dan Bahan.** Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat komputer dengan sistem operasi *Microsoft Windows XP Professional* yang dilengkapi beberapa perangkat lunak (*software*) untuk analisis, alat tulis, dan alat penunjang lainnya. *Software* yang digunakan yaitu *Microsoft Office Excel 2007* dan *Notepad* untuk perhitungan dan tabulasi,

*ArcView GIS 3.3* untuk analisis dan pemetaan secara spasial, serta *GAMS 22.2* dengan *solver MINOS* untuk analisis optimasi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data-data sekunder, antara lain Data Karakteristik DAS Citarum Tahun 2007 (curah hujan, tanah dan geologi, penggunaan lahan, serta fungsi kawasan); Data Potensi Desa Sensus Pertanian Tahun 2004 (PODES 2004) yang merupakan data sensus potensi desa terkini; Data Survey Sosial Ekonomi modul konsumsi Propinsi Jawa Barat Tahun 2003 (SUSENAS 2003) yang merupakan data terkini survey konsumsi masyarakat terhadap suatu komoditas; dan Data Sensus Industri Tahun 2006 yang merupakan data sensus industri terkini.

### Metode Penelitian

**Pengelompokan karakteristik lingkungan fisik.** Dalam penelitian ini, karakteristik lingkungan fisik di lokasi penelitian berupa curah hujan, tanah, dan topografi, dikelompokkan menjadi suatu sistem lahan (Tabel 1).

Tabel 1. Kategori sistem lahan pada penelitian

Sistem Lahan		Curah hujan (mm/th)	Jumlah bulan kering	Lereng tercuram	Solum terdangkal	Tekstur tanah terkasar	Jenis tanah dominan (USDA)			Rata-rata Kedalaman Solum (mm)	Kelas Lereng (%)
l	Nama						1	2	3		
1	Argalingga	1120	3,0	25%	60 cm	agak halus	Eutrandopts	Tropudults	Tropohumults	750	15 - 25
2	Bukit Balang	2040	4,0	60%	90 cm	agak halus	Dystropepts	Humitropepts	Tropohumults	1050	>40
3	Bukit Masung	1386	3,0	60%	90 cm	sedang	Dystropepts	Tropudults	Troporthents	1050	>40
4	Batu Ajan	1440	5,0	60%	60 cm	agak halus	Tropudults	Humitropepts	Troporthents	750	>40
5	Batuapung	1323	2,0	40%	90 cm	agak kasar	Dystropepts	Dystrandopts	Tropudults	1050	25 - 40
6	Barong Tonggak	1400	2,5	25%	90 cm	sedang	Dystropepts	Eutropepts	Tropudults	1050	15 - 25
7	Cibingbin	1323	1,0	25%	60 cm	agak halus	Eutropepts	Eutrandopts	-	750	15 - 25
8	Cipancur	1620	4,0	25%	30 cm	agak halus	Eutrandopts	Troporthents	-	300	15 - 25
9	Citarum	1512	3,5	2%	30 cm	halus	Tropaquepts	Fluvaquents	-	300	<8
10	Gunung Saman	1160	3,0	25%	60 cm	agak halus	Eutropepts	Tropudults	-	750	15 - 25
11	Kuranji	1281	2,5	8%	90 cm	kasar	Dystropepts	Dystrandopts	Tropaquepts	1050	<8
12	Kundut	1150	2,0	15%	30 cm	agak halus	Paleudults	Eutropepts	-	300	8 - 15
13	Patuha	1596	0,5	25%	60 cm	agak halus	Dystrandopts	Tropudults	Eutropepts	750	15 - 25
14	Tanggams	1386	2,5	60%	90 cm	sedang	Dystrandopts	Humitropepts	Hydrandopts	1050	>40
15	Talarau	1428	3,5	25%	60 cm	agak halus	Dystrandopts	Tropudults	Eutropepts	750	15 - 25

**Penentuan erosi aktual.** Dalam penentuan erosi aktual, dihitung laju erosi, tingkat bahaya erosi, dan pelepasan sedimen. Laju erosi menggunakan model pendugaan laju erosi USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978). Klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) mengacu pada pedoman klasifikasi TBE Dirjen Rehabilitasi Lahan, Departemen Kehutanan (1998). Laju pelepasan sedimen ditentukan dengan menggunakan pendekatan *Sediment Delivery Ratio* (SDR) yang dikembangkan oleh USDA berdasarkan luas area.

**Penentuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) aktual.** Kriteria Ruang Terbuka Hijau (RTH) menurut Undang-undang RI No. 26 Tahun 2007 yaitu area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Berdasarkan definisi tersebut, dalam penelitian ini penentuan RTH adalah sebagai berikut:

- Luas RTH untuk tipe penggunaan lahan berupa hutan, kebun/perkebunan, ladang/tegalan, dan sawah adalah 100%
- Luas RTH untuk penggunaan lahan berupa ruang terbangun adalah 10%
- Luas RTH untuk tipe penggunaan lahan berupa lahan kosong (semak belukar, rumput/tanah kosong, tanah berbatu) dan air yaitu 0%.

**Penentuan pendapatan rumah tangga tani aktual.** Pendapatan rumah tangga tani aktual ditentukan dengan menjumlahkan besarnya pendapatan tiap rumah tangga yang berlatar belakang petani komoditas tanaman yang diperoleh dari data sosial ekonomi (BPS 2004 dan 2006).

**Perumusan kerangka model optimasi.** Dalam merumuskan kerangka model optimasi, dilakukan analisis kesesuaian lahan, analisis komoditas tanaman yang sesuai dengan permintaan lokal, dan teknik optimasi. Analisis kesesuaian lahan dilakukan berdasarkan penetapan kelas kesesuaian lahan. Analisis komoditas tanaman yang sesuai dengan permintaan lokal dilakukan dengan menggunakan data aktivitas

produksi tanaman untuk desa/kelurahan di lokasi penelitian dalam Data Potensi Desa Sensus Pertanian, data pola konsumsi masyarakat sekitar lokasi penelitian dalam Data Survey Sosial Ekonomi Nasional Modul Konsumsi Propinsi Jawa Barat, dan data komoditas tanaman bahan baku industri pengolahan dalam Data Sensus Industri. Teknik optimasi dilakukan dengan pendekatan model optimasi linear sasaran ganda atau *linear goals programming* (LGP) menggunakan *software* optimasi ialah GAMS (*General Algebraic Modelling System*).

Optimasi dalam penelitian ini bertujuan merancang konfigurasi spasial pola penggunaan lahan yang dapat mengendalikan laju erosi sampai mendekati erosi yang dapat dibiarkan (TSL: *Tolerable Soil Loss*), memenuhi standar minimum ruang terbuka hijau (RTH), menghasilkan berbagai komoditas tanaman yang memenuhi permintaan lokal, dan memberikan dampak positif terhadap peningkatan pendapatan rumah tangga yaitu memenuhi standar kebutuhan hidup layak (KHL) berdasarkan ketentuan KHL Sajogjo (1977). Struktur model LGP terdiri atas fungsi tujuan; fungsi-fungsi kendala, yang terdiri atas fungsi kendala real dan fungsi kendala sasaran; variabel-variabel model, yang terdiri atas variabel-variabel keputusan, variabel-variabel sasaran, dan variabel tujuan; serta parameter model. Fungsi tujuan dirumuskan sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_j^E P_{i,j}^E W_{i,j}^E \Delta_{i,j}^+ + \sum_i^G P_i^G W_i^G \Delta_i^- + \sum_i^\kappa P_i^\kappa W_i^\kappa \Delta_i^- + \sum_n^D P_n^D \left( \sum_{j_1}^{\pi \hat{P}_1} P_{n_2}^D W_{n_2}^D \Delta_{n_2}^- + \sum_{j_2}^{\pi \hat{P}_2} P_{n_3}^D W_{n_3}^D \Delta_{n_3}^- + \sum_{j_3}^{\pi \hat{P}_3} P_{n_4}^D W_{n_4}^D \Delta_{n_4}^- \right) + \sum_{o,i}^{\pi \hat{P}_o} P_{o,i}^{\pi} W_{o,i}^{\pi} \Delta_{o,i}^-$$

Dimana,  $\sum_j^E P_{i,j}^E$  : skala prioritas antar sasaran utama optimasi, untuk sasaran erosi ( $s=E$ ), RTH ( $s=G$ ), RTB ( $s=\kappa$ ), output komoditas tanaman ( $s=D$ ), dan pendapatan rumah tangga ( $s=\pi$ )

- $P_{i,j}^E$  : skala prioritas antar desa dengan sistem lahan lahan tertentu untuk sasaran erosi
- $W_{i,j}^E$  : pembobot variabel sasaran total erosi setahun yang terjadi pada suatu desa dengan sistem lahan tertentu [ton<sup>-1</sup>]
- $\Delta_{i,j}^+$  : simpangan positif dari sasaran total erosi setahun yang ditetapkan untuk desa itu dengan sistem lahan tersebut [ton]
- $P_i^G$  : skala prioritas antar desa untuk sasaran RTH
- $W_i^G$  : pembobot variabel sasaran areal RTH untuk suatu desa [ha<sup>-1</sup>]
- $\Delta_i^-$  : simpangan negatif dari sasaran areal RTH yang ditetapkan untuk desa tersebut [ha]
- $P_i^\kappa$  : skala prioritas antar desa untuk sasaran RTB
- $W_i^\kappa$  : pembobot variabel sasaran areal RTB untuk suatu desa [ha<sup>-1</sup>]
- $\Delta_i^-$  : simpangan negatif dari sasaran areal RTB yang ditetapkan untuk desa tersebut [ha]
- $P_n^D$  : skala prioritas antar jenis komoditas tanaman untuk sasaran output

- $W_n^D$  : pembobot variabel sasaran output setahun suatu komoditas tanaman [Rp<sup>-1</sup> juta<sup>-1</sup>];
- $\Delta_n^-$  : simpangan negatif dari sasaran output setahun yang ditetapkan untuk komoditas tanaman tersebut [Rp juta]
- $\hat{P}_o^\pi$  : skala prioritas antar sektor untuk sasaran pendapatan rumah tangga
- $P_{o,i}^\pi$  : skala prioritas antar desa untuk sasaran pendapatan rumah tangga suatu sektor
- $W_{o,i}^\pi$  : pembobot variabel sasaran pendapatan setahun total rumah tangga tani sektor tanaman pangan ( $o=1$ ), sektor perkebunan ( $o=2$ ) atau sektor perhutanan produksikomoditas tanaman ( $o=3$ ) suatu desa [Rp<sup>-1</sup> juta<sup>-1</sup>]
- $\Delta_{o,i}^-$  : simpangan negatif dari sasaran pendapatan setahun total rumah tangga tani yang ditetapkan untuk masing-masing sektor di desa tersebut [Rp juta].

**Standarisasi Data.** Data dalam penelitian ini terbagi dalam tiga kelompok, yaitu data hasil penetapan (*judgement*), data dasar, dan hasil estimasi. Data hasil estimasi merupakan hasil estimasi dari data dasar yang diharapkan dapat menggambarkan wilayah penelitian pada kondisi aktual (tahun 2010). Jika tersedia, data dengan unit spasial yang sama (*match*) dengan wilayah penelitian menjadi pilihan pertama. Jika tidak tersedia, data diambil dari data 7 Kabupaten/Kota yang tercakup sebagian atau seluruhnya dalam wilayah penelitian; data Propinsi Jawa Barat; data wilayah lain yang bertetangga, seperti DKI Jakarta; atau rata-rata nasional. Untuk menyamakan dimensi tahun ke kondisi aktual, digunakan angka laju perubahan yang diestimasi dengan pendekatan:

1. Model Pertumbuhan Eksponensial, jika tersedia data deret waktu (*time-series*):  
 $X_t = X_0 \exp(rt)$  atau  $\ln X_t = \ln X_0 + rt$
2. Model Diskrit Laju Pertumbuhan Konstan, jika tersedia hanya data dua titik waktu:  
 $X_t = X_0 (1+r)^t$  atau  $r = (X_t/X_0)^{1/t} - 1$

Dimana,  $X_0$ ,  $X_t$ , dan  $r$  adalah data pada titik waktu awal, data pada titik waktu estimasi ke- $t$ , dan laju perubahan (Bangda 2008).

**Analisis Sensitivitas Model.** Model optimasi dalam penelitian ini merupakan model statis yang tidak memperhatikan waktu, namun model optimasi dengan menggunakan GAMS secara otomatis menghasilkan nilai-nilai marginal dan dapat dianalisis nilai elastisitasnya, sehingga dapat diketahui implikasi terhadap tujuan optimasi jika terjadi perubahan penggunaan lahan. Analisis sensitivitas (elastisitas) model tiap kendala diperlukan untuk mengetahui arti penting satu satuan perelaksian masing-masing elemen fungsi kendala terhadap peningkatan nilai optimal fungsi tujuan (Saefulhakim 2008). Menurut Intrilligator (1978), elastisitas tiap kendala sasaran dirumuskan:

$$Elastisitas = \frac{dy}{dx} \times \frac{x}{y}$$

Dimana,  $\frac{dy}{dx}$  = nilai marginal dari kendala sasaran;  $x$  = nilai sasaran;  $y$  = nilai sasaran  $y$ .

Elastisitas disertakan dalam optimasi untuk melihat pengaruh perubahan fungsi kendala terhadap perubahan nilai fungsi tujuan. Elastisitas bernilai 0,2 dapat diterjemahkan bahwa jika terjadi perubahan nilai fungsi kendala sebesar 1% maka nilai optimal fungsi tujuan akan naik sebesar 0,2%.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penggunaan lahan aktual dan implikasinya terhadap erosi, RTH, dan pendapatan rumah tangga tani (Tabel 2).

Penggunaan lahan aktual di DAS Citarum Hulu terdiri atas 22 tipe yang didominasi oleh Sawah Irigasi (23,08%). Tiga penggunaan lahan aktual dominan setelah Sawah Irigasi yaitu ruang terbangun pemukiman (16,53%), Ladang/Tegalan (15,86%), dan Perkebunan (15,04%). Luas penggunaan lahan berupa hutan di DAS Citarum Hulu ialah seluas 16,20% dengan luasan hutan berfungsi lindung seluas 9,81% dan hutan produksi seluas 6,39% dari total luas DAS Citarum Hulu. Persentase tersebut tidak memenuhi standar minimum luasan hutan UU Kehutanan No. 41 Tahun 1999, yaitu 30%. Penggunaan lahan aktual tersebut memberikan implikasi terhadap erosi, ruang terbuka hijau, dan pendapatan rumah tangga tani seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Laju erosi, luas ruang terbuka hijau, dan pendapatan rumah tangga tani pada penggunaan lahan aktual

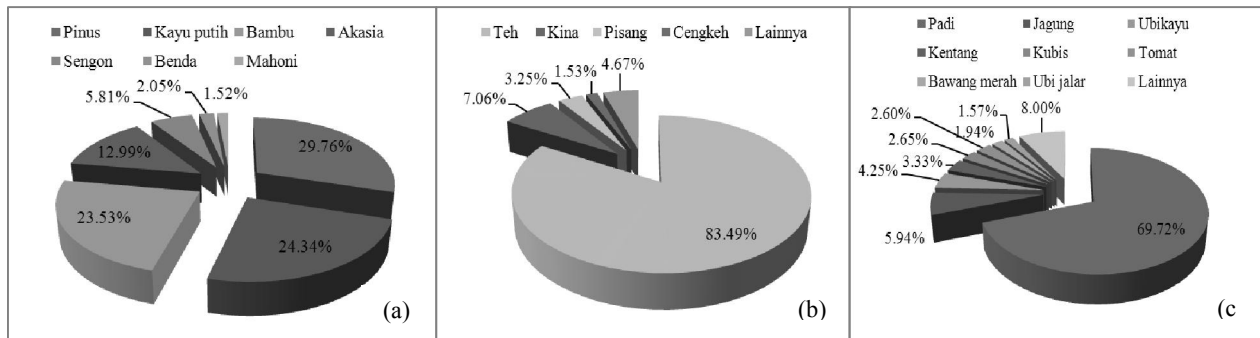
Penggunaan lahan	Kondisi					
	Laju erosi (ton/ha/thn)	Luas RTH (ha)	Pendapatan rumah tangga tani tiap sektor komoditas tanaman setiap tahun (Rp kapita <sup>-1</sup> )			
			Pangan	Perkebunan	Kehutanan	Agregat sektor
1. Air Tawar & Empang	3,99 - 70,82	0	0	0	0	0
2. Hutan Konservasi	2,89 - 88,52	10.129	0	0	0	0
3. Hutan Lindung	1,00 - 88,52	7.702	0	0	0	0
4. Hutan Produksi	4,02 - 531,13	11.603	298	0	10.167	469
5. Kebun/Perkebunan	2,99 - 1416,34	27.345	2.404	19.651	1	1.417
6. Ladang/Tegalan	8,67 - 4957,20	28.843	104.893	0	0	68.327
7. Sawah Irigasi	0,35 - 18,84	41.955	466.802	0	0	423.510
8. Sawah Tadah Hujan	1,33 - 26,56	8.907	58.008	0	0	41.856
9. Lahan Kosong	8,67 - 17704,27	0	0	0	0	0
10. Ruang Terbangun	2,65 - 53,13	3.070	56.579	66.667	67.569	102.881
Agregat kawasan	0,35 - 17704,27	139.554	1.937.000	624.000	45	1.621.016

Penggunaan lahan aktual di DAS Citarum Hulu menyebabkan laju erosi yang terjadi di tiap desa dengan sistem lahan tertentu sebesar 0,35-17704,27 ton/ha/tahun dengan rata-rata laju erosi sebesar 574,16 ton/ha/tahun sehingga DAS Citarum Hulu didominasi lahan dengan tingkat bahaya erosi sangat berat (36,87%) dan berat(21,84%). Besar pelepasan sedimen yang terjadi akibat kejadian erosi pada kawasan DAS Citarum Hulu yaitu rata-rata sebesar 33,88 ton/tahun dengan pelepasan sedimen minimum sebesar 0,02 ton/tahun dan pelepasan sedimen maksimum sebesar 1.044,55 ton/tahun. Jumlah sedimen yang diakibatkan oleh kejadian erosi di DAS Citarum Hulu cukup besar dan memberikan dampak negatif terhadap kualitas air dari aliran Sungai Citarum tersebut dan terjadinya sedimentasi di badan sungai sehingga volume sungai mengecil yang selanjutnya berpotensi terjadinya banjir.

Luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) pada penggunaan lahan aktual ialah 139.554 ha (76,76%). Luasan RTH tersebut telah memenuhi standar minimum luas RTH

sebesar 30% dalam suatu wilayah sebagaimana diatur dalam UU Penataan Ruang No. 26 Tahun 2007.

Pada penggunaan lahan aktual, rumah tangga tani di DAS Citarum Hulu membudidayakan 67 jenis tanaman utama, yaitu 38 jenis tanaman pangan, 21 jenis tanaman perkebunan, dan 18 jenis tanaman kehutanan (Gambar 1). Dari hasil membudidayakan tanaman tersebut, pendapatan rumah tangga tani di DAS Citarum Hulu pada kondisi aktual ialah Rp 1.621.016,- atau hanya 26,435% dari kebutuhan hidup layak (KHL). Pendapatan rumah tangga tani per tahun pada kondisi aktual tiap sektor ialah Rp 1.937.000,- (31,588% KHL) untuk sektor tanaman pangan; Rp 624.000,- (10,176% KHL) untuk sektor perkebunan; dan Rp 45,- (0,001% KHL) untuk sektor kehutanan. Sekitar 58,25% rumah tangga tani di DAS Citarum Hulu diperkirakan tidak mampu memenuhi standar minimum kebutuhan hidup layak. Sekitar 23,43% rumah tangga termasuk kategori keluarga Pra-Sejahtera (sangat miskin) dan 34,82% Sejahtera I (miskin).

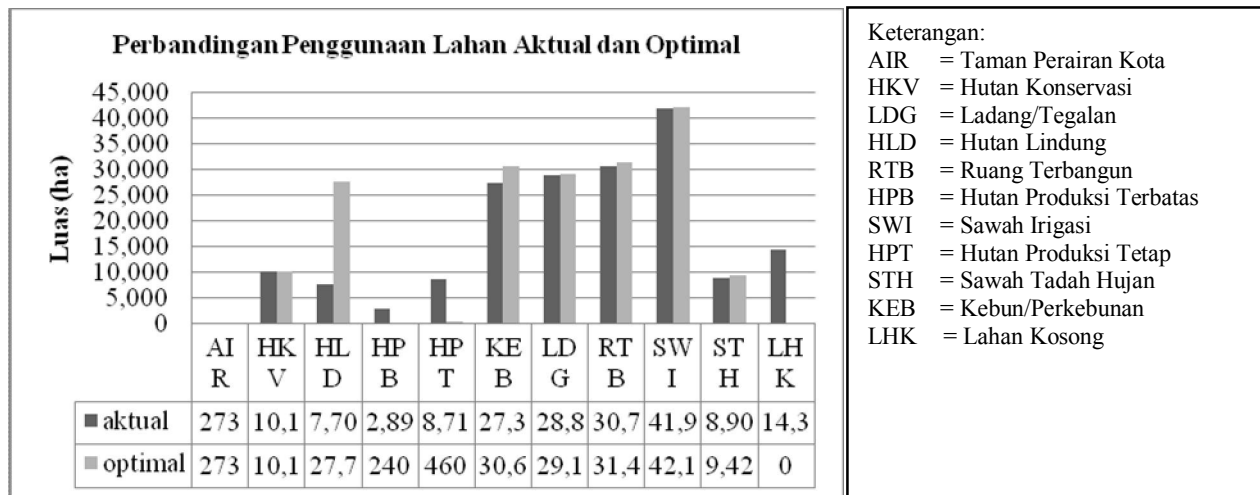


Gambar 1. Persentase jenis tanaman yang dibudidayakan petani pada kondisi aktual sektor kehutanan. Ket: (a), perkebunan (b), dan tanaman pangan (c).

**Rekomendasi Pola Penggunaan Lahan Optimal**

Berdasarkan hasil optimasi, direkomendasikan pola penggunaan lahan optimal yang dapat memenuhi sasaran erosi (TSL), sasaran RTH, dan sasaran pendapatan (KHL) dengan perbandingan luasan penggunaan lahan aktual dan optimal yang disajikan pada Gambar 2. Taman Perairan Kota terdiri atas tipe penggunaan lahan Air tawar dan Empang. Hutan

Konservasi terdiri atas tipe penggunaan lahan Hutan Primer Cagar Alam, Hutan Sekunder Cagar Alam, dan Hutan Sekunder Taman Wisata Alam. Hutan Lindung terdiri atas Hutan Primer Hutan Lindung, Hutan Sekunder Hutan Lindung, dan Hutan Tanaman Hutan Lindung. Ruang Terbangun terdiri atas Gedung dan Pemukiman. Lahan Kosong terdiri atas Rumput/Tanah Kosong, Semak/Belukar, dan Tanah Berbatu.



Gambar 2. Perbandingan luas penggunaan lahan pada kondisi aktual dan optimal.

Pada kondisi optimal, luas hutan lindung meningkat 260,34% atau 3,6 kali dari kondisi aktual yang memiliki luas hutan lindung 7.701,94 ha (4,24%). Konsekuensi dari peningkatan tersebut ialah menurunnya luas hutan produksi tetap seluas 8.251,18 ha atau 94,72% dari kondisi aktual dan hutan produksi terbatas seluas 2.651,96 ha atau 91,70% dari kondisi aktual sehingga produksi yang dihasilkan, baik berupa kayu maupun non kayu, juga menurun. Oleh karena itu, perusahaan hutan produksi harus mengoptimalkan usaha pokok dari hasil hutan non kayu yang akan memberikan dampak finansial yang tinggi, seperti wanawisata dengan pengelolaan ekowisata yang profesional, pengembangan usaha persuteraan alam, produksi hutan tanaman dengan hasil pokok berupa getah, dan sebagainya. Peningkatan

luas hutan pada kondisi optimal (21,22%) masih belum memenuhi standar minimum luas hutan UU No. 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, yaitu sebesar 30% dari luas kawasan. Hal itu terjadi karena dalam penelitian ini beberapa penggunaan lahan aktual, seperti perkebunan milik perusahaan (perkebunan teh dan kina) dan ruang terbangun, diasumsikan tidak dapat dikurangi luasannya.

Untuk memenuhi sasaran-sasaran optimasi maka direkomendasikan pola penanaman, baik di kawasan lindung maupun budidaya. Pola penanaman di kawasan lindung direkomendasikan berdasarkan Pedoman Rehabilitasi Hutan dan Lahan (Dephut 2007) yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekomendasi penanaman di kawasan lindung untuk mencapai kondisi optimal

Rencana	Penggunaan Lahan		Sistem Penanaman
		Asal (Aktual)	
Taman Perairan Kota (272,99 ha)	1. Air Tawar (251,99 ha) 2. Empang (21,00 ha)		Pembuatan sabuk hijau ( <i>green belt</i> ) di sekeliling area perairan dengan komposisi: min. 60% pohon kayu-kayuan dan maks. 40% MPTS. Jarak tanam disesuaikan dengan kondisi lapangan (1.100 batang/ha)
Hutan Lindung (27.753,21 ha)	1. Hutan Primer Lindung (5.270,32 ha) 2. Hutan Sekunder Lindung (2.258,62 ha) 3. Hutan Tanaman Lindung (173,00 ha)		Pengkayaan tanaman dengan pohon berdaur panjang (min. 60% pohon kayu-kayuan dan maks. 40% MPTS). Jarak tanam sekitar 5 m x 5 m (400 batang/ha)
	4. Hutan Primer Produksi Terbatas (590,93) 5. Hutan Sekunder Produksi Terbatas (2.010,97 ha) 6. Hutan Sekunder Produksi Tetap (6.601,14 ha) 7. Hutan Tanaman Produksi Terbatas (66,00 ha) 8. Hutan Tanaman Produksi Tetap (2.097,65 ha) 9. Rumput/Tanah Kosong (338,00 ha) 10. Semak Belukar (8.289,57 ha) 11. Tanah Berbatu (57,00 ha)		Reboisasi dengan pohon berdaur panjang (min. 60% pohon kayu-kayuan dan maks. 40% MPTS). Jarak tanam sekitar 3 m x 3 m (1.100 batang/ha)
Hutan Konservasi (10.128,86 ha)	1. Hutan Primer Cagar Alam (1.067,98 ha) 2. Hutan Sekunder Cagar Alam (8.144,89 ha) 3. Hutan Sekunder Taman Wisata Alam (915,99 ha)		Tidak dilakukan perubahan kondisi hutan  Pengkayaan tanaman dengan komposisi: min. 90% pohon kayu-kayuan dengan jenis endemik setempat dan maks. 10% MPTS yang merupakan jenis asli setempat. Jarak tanam sekitar 5 m x 5 m (400 batang/ha).
Total	38.155,06 ha		

Pola penanaman di kawasan budidaya direkomendasikan berdasarkan hasil optimasi dengan menggunakan model optimasi LGP. Jenis tanaman yang direkomendasikan ialah jenis tanaman lokal yang tidak memiliki masalah dalam pendugaan produktivitas, permintaan dan harga pasar lokal komoditas tanaman dari jenis tanaman tersebut, antara lain:

- Sektor kehutanan, terdiri atas: Akasia (*Acacia spp.*), Kempas (*Koompassia malaccensis*), Mahoni (*Swietenia spp.*), Nyatoh (*Palaquium spp.*), Sonokeling (*Dalbergia latifolia*), dan Pinus (*Pinus spp.*)
- Sektor perkebunan-MPTS, terdiri atas: Alpukat (*Persea americana*), Aren (*Arenga pinnata*), Asam jawa (*Tamarindus indica*), Jambu biji (*Psidium guajava*), Jeruk (*Citrus spp.*), Kemiri (*Aleurites moluccana*), Kina (*Cinchona pubeschens*), Mangga (*Mangifera indica*), Nangka (*Artocarpus heterophyllus*), Petai (*Parkia speciosa*), Rambutan (*Nephelium lappceum*)
- Sektor perkebunan: Kelapa (*Cocos nucifera*), Pepaya (*Carica papaya*), Pisang (*Musa paradisiaca*),

Rumput sudan/gajah (*Penisetum purpureum*), dan Teh (*Camellia sinensis*).

- Sektor pangan:

1. Bawang merah (*Allium ascalonicum*)
2. Bawang putih (*Allium sativum*)
3. Bayam (*Amaranthus spp.*)
4. Buncis (*Phaseolus vulgaris*)
5. Cabe hijau (*Capsicum annum*)
6. Cabe merah (*Capsicum annum*)
7. Cabe rawit (*Capsicum frutescens*)
8. Jagung (*Zea mays*)
9. Jahe (*Zingiber officinale*)
10. Kacang merah (*Vigna umbellata*)
11. Kacang panjang (*Vigna sinensis*)
12. Kacang tanah (*Arachis hypogaea*)
13. Kangkung (*Ipomoea aquatica*)
14. Kedelai (*Glycine max*)
15. Kentang (*Solanum tuberosum*)
16. Ketimun (*Cucumis sativus*)

Berdasarkan hasil optimasi, rekomendasi sistem penanaman untuk masing-masing penggunaan lahan rencana berbeda-beda seperti disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekomendasi pola penanaman di Hutan Produksi Rencana

Penggunaan Lahan Rencana	Penggunaan Lahan Aktual	Rekomendasi sistem penanaman
Hutan Produksi (699,55 ha)	1. Hutan Sekunder Produksi Terbatas (203,00 ha)	- Hutan Produksi dengan sistem agroforestri <i>interplanting</i> (pola tanaman sela), 1 baris larikan tanaman sela berada di antara 9 baris larikan tanaman pokok (sektor kehutanan). - Larikan tanaman sela (khususnya tanaman semusim) diapit oleh <i>strip cropping</i> berupa tanaman penutup tanah ( <i>cover crops</i> ) yang tumbuh rapat atau pupuk hijau selebar 1 m.
	2. Hutan Sekunder Produksi Tetap (12,00 ha)	
	3. Hutan Tanaman Produksi Terbatas (21,00 ha)	- Hutan rakyat dengan sistem agroforestri <i>interplanting</i> (pola tanaman sela), 1 baris larikan tanaman sela berada di antara 9 baris larikan tanaman sektor kehutanan. - Pohon mahoni, rambutan, dan kelapa ditanam di dengan pola tanam <i>buffer zone</i> (penyangga) yang melingkari batas tiap petak tanaman
	1. Rumput/ Tanah kosong (53,88 ha)	
Kebun/ Perkebunan (30.697,82 ha)	2. Semak/Belukar (409,67 ha)	<b>Perkebunan rakyat:</b> Agroforestri <i>Kebun-Talun Perkebunan teh dan kina</i> : Agroforestri dengan penanaman tanaman tahunan, baik pohon lindung maupun MPTS, sebagai <i>buffer zone</i> (penyangga) yang melingkari setiap petak kebun tanaman pokok
	1. Kebun/Perkebunan (27.345,31 ha)	
	2. Rumput/Tanah kosong (1.408,69 ha)	
	3. Semak/Belukar (1.940,82 ha)	
Ladang/Tegalan (29.168,70 ha)	4. Tanah Berbatu (3,00 ha)	<b>Ladang/Tegalan aktual:</b> Pengkayaan tanaman tahunan (kayu-kayuan & MPTS) pada batas pemilikan lahan dan sisipan dalam petak tanaman berdasarkan Pedoman RHL (Dephut 2007) <b>Konversi lahan tidak produktif:</b> Agroforestri / tumpang sari
	1. Ladang/Tegalan (28.842,81 ha)	
	2. Rumput/Tanah kosong (317,32 ha)	
Sawah Tadah Hujan (9.429,07 ha)	3. Semak/Belukar (8,57 ha)	- Agroforestri dengan proporsi tanaman semusim : tanaman tahunan = 90% : 10% - Tanaman semusim ditanam dengan sistem pergiliran tanaman - Tanaman tahunan (sektor kehutanan, perkebunan-MPTS, & perkebunan) ditanam di sekeliling batas petak sawah sebagai tanaman penutup tanah tinggi. - Untuk penguat terras dan saluran-saluran air, digunakan tanaman penutup tanah bawah berupa jenis rumput-rumputan dan tumbuhan merambat
	1. Sawah Tadah Hujan (8.906,94 ha)	
	2. Rumput/ Tanah kosong (483,13 ha)	
Sawah irigasi 29.168,70 ha	3. Semak/Belukar (31,00)	- Agroforestri dengan proporsi tanaman semusim : tanaman tahunan = 90% : 10% - Tanaman semusim ditanam dengan sistem pergiliran tanaman - Tanaman tahunan (sektor kehutanan, perkebunan-MPTS, & perkebunan) ditanam di sekeliling batas petak sawah sebagai tanaman penutup tanah tinggi. - Untuk penguat terras dan saluran-saluran air, digunakan tanaman penutup tanah bawah berupa jenis rumput-rumputan dan tumbuhan merambat
	1. Sawah irigasi (41.955,42 ha)	
	2. Rumput/ Tanah Kosong (208,52 ha)	
	4. Tanah Berbatu (3,00 ha)	
Pekarangan pada Ruang Terbangun	3. Semak/Belukar (7,00 ha)	- Agroforestri <i>Kebun Pekarangan</i> dengan proporsi tanaman tahunan (lindung & MPTS) : tanaman lain = 90% : 10% - Luas <i>Kebun Pekarangan</i> yaitu minimum 10% luas Ruang Terbangun
	1. Sawah irigasi (41.955,42 ha)	
	2. Rumput/ Tanah Kosong (208,52 ha)	
	4. Tanah Berbatu (3,00 ha)	

Keterangan: \*) hasil optimasi LGP

Pola areal budidaya tanaman pada penggunaan lahan berfungsi budidaya direkomendasikan dengan menerapkan sistem agroforestri. Keuntungan yang diperoleh dari sistem ini ialah kesuburan tanah yang lestari, konservasi tanah, peningkatan hasil, pengurangan resiko kegagalan, mudah dikelola, pengendalian hama dan penyakit, dan lebih dapat memenuhi kebutuhan sosial ekonomi penduduk setempat. Tegakan pohon pada sistem agroforestri ini juga mampu menghambat air hujan agar tidak langsung jatuh ke tanah (*troughfall*) dan mengakibatkan air hujan yang jatuh ke tanah terserap (*infiltrasi*) ke dalam tanah sehingga tidak terjadi aliran permukaan (*surface run-*

*off*) yang besar sehingga akan mencegah terjadinya erosi yang besar dan meningkatkan pasokan air tanah.

**Implikasi Implementasi Rekomendasi Pola Penggunaan Lahan Optimal terhadap Erosi, RTH, dan Pendapatan Rumah Tani.** Implementasi rekomendasi pola penggunaan lahan optimal mengakibatkan laju erosi sebesar 0,35-1314,99 ton/ha/tahun. Rata-rata penurunan laju erosi dari aktual ke optimal sebesar 93,23% (530,42 ton/ha/tahun). Penurunan erosi menyebabkan penurunan pelepasan sedimen, yaitu sebesar 94,13%.

Pada kondisi optimal, luas lahan dengan tingkat bahaya erosi *sangat berat* berkurang sebesar 93,19% dari 67.033,26 ha (36,87%) menjadi 4.081,91 ha

(2,25%) dan DAS Citarum Hulu didominasi oleh lahan dengan tingkat bahaya erosi *ringan* seluas 52.062,34 (28,63%). Erosi yang terjadi pada 132.665 ha (72,97%) kawasan telah mencapai TSL dengan persentase capaian TSL pada tiap desa dengan sistem lahan tertentu pada penggunaan lahan optimal 102,99% sampai dengan 4.318,52%. Sekitar 27,03% areal sisanya belum mencapai TSL karena karakteristik lahan di areal tersebut sangat rentan terhadap erosi walaupun dioptimalkan vegetasi penutup lahan maupun tindakan konservasi tanahnya.

Luasan RTH pada kondisi optimal ialah 152.889 ha (84,09%). Tipe penggunaan lahan dengan persentase RTH sebesar 100% yaitu seluas 149.740 ha, sisanya seluas 3.149 ha berada di kawasan terbangun yang dialokasikan memiliki RTH minimum 10%. Dalam penelitian ini, sasaran luas RTH kawasan ialah minimum 40% dengan mempertimbangkan standar minimum RTH dalam Undang-undang Penataan Ruang sebesar 30% luas wilayah. Hasil optimasi menunjukkan

bahwa pola areal tegakan tanaman optimal yang direkomendasikan telah memenuhi bahkan melebihi batas minimum sasaran tersebut.

Rekomendasi pola penggunaan lahan optimal memberikan dampak peningkatan produksi tanaman-tanaman yang dibudidayakan oleh petani di DAS Citarum Hulu, yaitu 19.966,42%. Pada kondisi optimal, output komoditas tanaman secara agregat yang ditanam oleh petani kawasan DAS Citarum Hulu pada harga produsen ialah Rp 7.839.904.000.000 yang mengalami peningkatan sebesar 1.416,26% dari output komoditas tanaman pada kondisi aktual sebesar Rp 517.050.000. Output tersebut mengakibatkan pendapatan rumah tangga tani di kawasan DAS Citarum Hulu pada kondisi optimal yaitu Rp 5.200.701,- per kapita yang mengalami peningkatan sebesar 220,83% dari pendapatan aktual yaitu Rp 1.621.016,- per kapita. Pendapatan dan capaian standar kebutuhan hidup layak rumah tangga tani tanaman di DAS Citarum Hulu disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pendapatan dan capaian KHL rumah tangga tani tanaman pada kondisi aktual dan optimal

Rumah tangga Tani Tanaman		Pendapatan Setahun (Rp/kapita)		Capaian KHL (%)		Perubahan (%)
Sektor	Jumlah	Aktual	Optimal	Aktual	Optimal	
Tanaman Pangan	218.829	1.937.000	6.165.000	31,588	100,537	218,28
Perkebunan	3.467	624.000	5.119.000	10,176	83,479	720,35
Kehutanan	40.525	45	621	0,001	0,010	1.282,41
Agregat	262.821	1.621.016	5.200.701	26,435	84,811	220,83

Keterangan:

KHL = Kebutuhan Hidup Layak  
= Rp 6.132.100 per kapita

Sumber: Hasil analisis.

Kecilnya pendapatan rata-rata tahunan yang dihasilkan oleh sektor tanaman kehutanan disebabkan karena daur pemanenan yang lama dibandingkan dengan sektor tanaman pangan yang memiliki beberapa musim tanam dalam satu tahun atau sektor perkebunan yang hasilnya dapat dipanen tiap tahun. Namun untuk keberlanjutan fungsi ekologis, maka ditanamnya jenis tanaman kehutanan menjadi penting. Oleh karena itu, sistem penanaman agroforestri yang mencampurkan sektor tanaman kehutanan, tanaman perkebunan, dan tanaman pangan, pada tiap tipe penggunaan lahan di kawasan budidaya seperti pada rekomendasi pola areal tegakan tanaman optimal sangat penting untuk keberlanjutan fungsi ekologis maupun ekonomis di DAS Citarum Hulu.

**Elastisitas Dampak Peningkatan Laju Erosi terhadap Pendapatan Rumah Tangga Tani.** Dalam proses optimasi, dihasilkan nilai-nilai marginal yang dapat memberikan informasi tentang implikasi perubahan penggunaan lahan. Nilai-nilai marginal yang dihasilkan dari proses optimasi dalam penelitian ini yaitu nilai marginal dari sasaran erosi, ruang terbuka hijau, perluasan tipe penggunaan lahan, produksi dan output komoditas tanaman, serta pendapatan rumah tangga tani. Dalam penelitian ini, analisis sensitivitas yang dipilih yaitu elastisitas dampak peningkatan laju erosi terhadap pendapatan rumah tangga tani karena

kedua sasaran tersebut merupakan sasaran yang paling penting untuk diperhatikan.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, dapat diketahui bahwa peningkatan laju erosi dapat mengakibatkan penurunan pendapatan rumah tangga tani. Peningkatan laju erosi sebesar 1% di kawasan DAS Citarum Hulu dapat mengakibatkan penurunan pendapatan rumah tangga tani agregat sektor komoditas tanaman hingga 10,797%. Bila dikelompokkan berdasarkan sektor komoditas tanaman, dampak penurunan pendapatan rumah tangga tani tertinggi akibat peningkatan laju erosi sebesar 1% berada pada sektor komoditas tanaman pangan, yaitu 54,071%; kemudian disusul dengan sektor komoditas tanaman perkebunan sebesar 28,011% dan kehutanan sebesar 0,420%.

## KESIMPULAN

1. Pola penggunaan lahan aktual mengakibatkan rata-rata laju erosi di DAS Citarum Hulu sebesar 574,16 ton/ha/tahun dengan laju erosi berkisar 0,35-17.704,27 ton/ha/tahun dan didominasi lahan dengan tingkat bahaya erosi *sangat berat* (36,87%) dan *berat* (21,84%); ruang terbuka hijau seluas



139.549,65 ha (76,75%); dan sekitar 58,25% rumah tangga tani di DAS Citarum Hulu diperkirakan tidak mampu memenuhi standar minimum kebutuhan hidup layak yaitu 23,43% rumah tangga termasuk kategori keluarga Pra-Sejahtera (sangat miskin) dan 34,82% Sejahtera I (miskin).

2. Alokasi penggunaan lahan optimal yang direkomendasikan yaitu lahan berfungsi lindung yang terdiri atas hutan lindung, cagar alam, taman wisata alam, dan taman perairan kota seluas 38.155,06 ha (20,99%); hutan produksi, baik terbatas maupun tetap, seluas 699,56 ha (0,38%); perkebunan seluas 30.697,81 ha (16,88%); perladangan seluas 29.168,70 ha (16,04%); sawah tadah hujan seluas 8.906,64 (4,89%); sawah irigasi seluas 43.200,11 ha (23,76%); dan ruang terbangun ber-RTH 10% seluas 30.966,97 (17,03%). Kawasan selain lahan berfungsi lindung dialokasikan pola *agroforestry* dengan jenis tanaman yang direkomendasikan sebanyak 50 jenis yang terbagi kedalam sektor tanaman pangan, perkebunan, dan kehutanan.
3. Rekomendasi alokasi penggunaan lahan dan areal tegakan optimal mengimplikasikan rata-rata penurunan laju erosi dari aktual ke optimal sebesar 540,48 ton/ha/tahun (94,13%) dan 72,97% kawasan mencapai TSL; peningkatan areal ruang terbuka hijau menjadi 158.888,22 ha (87,39%); serta peningkatan pendapatan per tahun rumah tangga tani sektor tanaman pangan sebesar 218,28% sehingga KHL terpenuhi 100,54%, peningkatan pendapatan per tahun rumah tangga tani sektor perkebunan sebesar 720,35% sehingga KHL terpenuhi 83,479%, dan peningkatan pendapatan per tahun rumah tangga tani sektor kehutanan sebesar 1.282,41% dengan capaian KHL 0,010%.
4. Peningkatan laju erosi sebesar 1% di DAS Citarum hulu akan elastis mengakibatkan penurunan pendapatan per tahun rumah tangga tani sektor kehutanan sampai dengan 239,1%; sektor perkebunan sampai dengan 792,2%; dan sektor tanaman pangan sampai dengan 9695,3%. Peningkatan laju erosi sebesar 1% di DAS Citarum Hulu berpotensi meningkatkan kemiskinan masyarakat, khususnya rumah tangga tani, dan secara tidak langsung akan berdampak pada aktivitas ekonomi yang berkaitan selanjutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : IPB Press.
- [BPDAS Citarum-Ciliwung] Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung. 2007. Laporan karakteristik DAS Citarum. Buku I (Naskah). Bogor: BPDAS Citarum-Ciliwung, Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1999. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2007. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Jakarta.
- Sunarti. 2008. *Pengelolaan DAS Berbasis Bioregion (Suatu Alternatif Menuju Pengelolaan Berkelanjutan)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan.
- [Bangda] Ditjen Pembinaan Pembangunan Daerah. 2008. *Model Pemetaan Potensi Ekonomi Daerah*. Jakarta: Subdit Potensi Ekonomi Daerah, Direktorat Jenderal Pembinaan Pembangunan Daerah, Departemen Dalam Negeri.
- [Dephut] Departemen Kehutanan. 2007. *Pedoman Teknis Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan dan Lahan (GN-RHL/Gerhan)*. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Saefulhakim RS. 2008. *Analisis Kuantitatif Perencanaan Wilayah*. Bahan ajar Studio Perencanaan Wilayah. Bogor: Laboratorium Perencanaan Pengembangan Wilayah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Sajogjo. 1977. *Garis Kemiskinan dan Kebutuhan Minimum Pangan*. Bogor: Pusat Studi Pembangunan Pertanian dan Pedesaan LPPM-IPB.