

Analisis Perubahan Kualitas Lingkungan Daerah Aliran Sungai Citarum Jawa Barat dan Pengaruhnya Terhadap Biaya Produksi PLTA dan PDAM (Studi Kasus PLTA Saguling, PLTA Cirata, PLTA Jatiluhur, PDAM Purwakarta, dan PDAM DKI Jakarta)

Analysis of Environmental Quality Changes of Citarum Watershed of West Java and their Effects on Operational Costs of Hydroelectric Power Plans and the Regional Drinking Water Companies (Case Study at Saguling, Cirata, and Jatiluhur Hydroelectric Power Plans and Purwakarta and Jakarta Drinking Water Companies)

R. TAMPUBOLON¹, B. SANIM², M. SRI SAENI³, DAN R. BOER⁴

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan tutupan lahan, perubahan karakteristik hidrologis dan pengaruhnya terhadap nilai ekonomi sumberdaya air bagi pengguna jasa lingkungan (PLTA dan PDAM). Penelitian dilakukan selama tahun 2006 di DAS Citarum Wilayah Hulu yang meliputi Sub DAS Saguling, Sub DAS Cirata, dan Sub DAS Jatiluhur dengan luas 486.237 ha. Aktor-aktor ekonomi yang menjadi objek penelitian adalah PLTA Saguling, PLTA Cirata, dan PLTA Jatiluhur serta PDAM Purwakarta (Tirta Dharma) dan PDAM DKI Jakarta (PT. Thames Jaya) di DAS Citarum Wilayah Hilir sebagai pengguna jasa lingkungan (sumberdaya air) DAS Citarum. Metode dan teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah : a) *supervised classification analysis* untuk mengetahui perubahan tutupan lahan; b) model GR4J untuk menduga debit, volume air, dan sedimentasi; dan c) analisis kimia air dan *replacement cost* sebagai teknik valuasi ekonomi jasa lingkungan bagi pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama periode 1992–2003 telah terjadi penurunan tutupan lahan hutan (pohon) dengan laju 2,23% (3.804,2 ha) per tahun. Penurunan luas tutupan lahan tersebut terutama disebabkan oleh kenaikan pembukaan lahan untuk memenuhi kebutuhan pemukiman dan sarana sosial lainnya, yang tumbuh 9,81% (2.404,5 ha) per tahun. Perubahan tutupan lahan tersebut menyebabkan perubahan pada karakteristik hidrologis DAS Citarum Wilayah Hulu berupa penurunan debit air masuk lokal (DAML) dengan laju 1,49% (3,14 m³ dt⁻¹) dan volume air masuk lokal (VAML) dan 4,20% (275,26 juta m³), peningkatan rasio Q max-min 5,99% (rata-rata 131,94), peningkatan laju sedimentasi rata-rata 10,20 juta m³-12,86 juta m³ (total tiga waduk) setiap tahun yang membahayakan terutama Waduk Saguling dan Cirata, dan penurunan kualitas kimiawi air di Sungai Citarum. Perubahan tutupan lahan dan karakteristik hidrologis tersebut telah menyebabkan kerugian ekonomi ("keuntungan yang hilang") bagi PLTA dan PDAM. Besarnya keuntungan yang hilang akibat penurunan kualitas lingkungan DAS Citarum Wilayah Hulu bagi PLTA adalah sebesar Rp 43,44 miliar (Rp 9.538,- MWh⁻¹ energi listrik atau Rp 3,29,- m³ air yang digunakan PLTA), sedangkan bagi PDAM adalah Rp 212,43,- m³ (PDAM Purwakarta) dan Rp 821,48,- m³ (PDAM DKI Jakarta). Berkaitan dengan besarnya kerugian ekonomi yang ditimbulkan oleh penurunan kualitas lingkungan DAS Citarum Wilayah Hulu terhadap PLTA dan PDAM maka upaya pengendalian pemanfaatan (tataguna) lahan dan tindakan-tindakan konservasi sangat diperlukan dengan tetap mempertahankan luas minimal hutan. "Keuntungan yang hilang" tersebut dapat digunakan sebagai investasi lingkungan untuk perbaikan kualitas lingkungan (*replacement cost*) di DAS Citarum Wilayah Hulu.

Kata kunci : *Perubahan tataguna lahan dan hutan, Daerah aliran sungai, Hidrologi, Jasa lingkungan, Valuasi ekonomi*

ABSTRACT

The objectives of this research were to analyze land cover changes, hydrological characteristics changes, and their effects on the economic value of water resources for environmental services beneficiaries (Hydroelectric Power Plan, HEPP and Drinking Water Companies, DWC). This research was conducted from January to December 2006 in the upper Citarum watershed, covering the Saguling, Cirata, and Jatiluhur catchments, with total area of 486,237 ha. The economic actors under this study are Saguling HEPP, Cirata HEPP, and Jatiluhur HEPP as well as Tirta Dharma DWC (Purwakarta) and PT Thames Jaya DWC (Jakarta) which are located downstream of Citarum watershed as the beneficiaries of environmental services of Citarum watershed. The methodology and analysis technique used in this research were : a) supervised classification analysis to find out land cover changes; b) GR4J model to predict water discharge, water volume, and sedimentation; and c) water chemical analysis and replacement cost method for economic valuation of environmental services among the beneficiaries (HEPP, DWC). The results showed that during the 1992 to 2002 period, there has been a reduction of forest (tree) area at the rate of 2.23% (3,804.2 ha) annually. The reduction of forest area was mainly caused by increasing of land clearing for settlement and other infrastructure which grew at the rate of 9.81% (2,404.5 ha) annually. This landuse change has influenced on hydrological characteristics of the upper Citarum watershed as shown by the reduction of local water discharge as high as 1.49% (3.14 m³ sec⁻¹) and the volume of local water input as high as 4.20% (275.26 million m³), the increasing ratio of Q_{max}/Q_{min} as high as 5.99% (at the average of 131.94), the increasing of sediment yield as high as 10.20 to 12.86 million m³ annually (for the three dams) which is very dangerous, especially for Saguling and Cirata dams, as well as the decreasing of chemical water quality of Citarum River. Landuse and hydrological characteristics changes has caused an

1. Mahasiswa Program Doktor pada Program Studi PSL, IPB, Bogor.
2. Guru Besar Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB, Bogor.
3. Guru Besar Kimia Fisik dan Lingkungan, IPB, Bogor.
4. Pengajar pada Fakultas MIPA, IPB, Bogor

economic loss (opportunity cost) among the HEPPs and DWCs. The amount of the opportunity cost due to environmental degradation of upper Citarum watershed suffered by the HEPPs was as high as Rp 43.44 billion (equivalent with Rp 9,538,- MWh⁻¹ electricity or Rp 3.29 m⁻³ water used by HEPP). Whereas economic lost suffered by DWC were Rp 212.43,- m⁻³ (Purwakarta DWC) and Rp 821.48 m⁻³ (Jakarta DWC) respectively. Based on significant economic loss caused by environmental degradation of the upper Citarum watershed on HEPP and DWC, the efforts for controlling landuse allocation and soil conservation seem very necessarily, by assigning permanent forest cover area. The amount as reflected by opportunity cost could be used as environmental investment for improving environmental quality (replacement cost) in the upper Citarum watershed.

Keywords : *Landuse change and forestry, Watershed, Hydrology, Environmental services, Economic valuation*

PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) Citarum di Jawa Barat memiliki posisi dan peranan yang sangat penting serta strategis karena menempati areal 1,35 juta ha yang dihuni hampir 60% (23 juta) penduduk, memiliki potensi air per tahun 12,95 miliar m³, dengan Sungai Citarum sepanjang 300 km. Di wilayah hulu terdapat tiga waduk besar secara seri (*cascade*) yaitu Saguling, Cirata, dan Jatiluhur. Ketiga waduk tersebut mengoperasikan tiga PLTA (Saguling, Cirata, dan Jatiluhur) yang memasok 20% kebutuhan listrik Jawa-Bali. Di wilayah hilir, Sungai Citarum tersebut juga menyediakan kebutuhan irigasi sawah lebih dari 240.000 ha, air baku air minum PDAM (termasuk PT. Thames PAM Jaya-TPJ) dan kebutuhan industri. DAS Citarum Wilayah Hilir juga merupakan daerah yang memiliki pertumbuhan ekonomi yang tinggi di Jawa Barat (Jasa Tirta II, 2005).

Kegiatan antropogenik tersebut telah menimbulkan degradasi ekosistem di DAS Citarum, terutama disebabkan oleh tingginya laju pertumbuhan penduduk dan perekonomian. Keadaan ini pada akhirnya menyebabkan tingginya laju konversi lahan dan hutan menjadi peruntukan lain, seperti : pemukiman, perdagangan, industri, sarana prasarana, dan lain sebagainya. Perubahan tataguna lahan (*landuse change*) telah menimbulkan berbagai masalah, seperti : meningkatnya lahan kritis, banjir pada musim hujan, kekeringan pada musim kemarau, pencemaran oleh industri dan domestik,

erosi dan sedimentasi, dan bahkan pada skala makro telah mengakibatkan pemanasan global dan perubahan iklim (Landell-Mills and Porras, 2002).

Untuk menjamin ketersediaan sumberdaya air dalam jumlah, mutu, dan waktu yang tepat, pengelolaan DAS secara berkelanjutan (*sustainable watershed management*) diperlukan untuk mencukupi berbagai kebutuhan atau penggunaan (Asdak, 2004). Upaya itu memerlukan biaya yang sangat besar dalam waktu yang relatif lama dan berkelanjutan. Pembiayaan pengelolaan DAS selama ini sebagian besar diperoleh dari dana pemerintah dan sebagian kecil dari dunia usaha sebagai wujud tanggungjawab sosial perusahaan (*corporate social responsibility*-CSR). Selain itu, sumber pendanaan melalui *polluters pay principle* untuk menangani permasalahan polusi (limbah) tidak memadai dan belum maksimal dilaksanakan. Oleh karena itu, sumber pendanaan baru perlu dikembangkan melalui mekanisme pembebanan biaya (*user charge principle*) bagi pengguna sumberdaya alam dan lingkungan umumnya dan sumberdaya air khususnya. Untuk itu, penelitian perlu dilakukan guna mengkaji perubahan kualitas lingkungan DAS Citarum dan pengaruhnya terhadap nilai ekonomi jasa lingkungan (sumberdaya air) terhadap pengguna antara lain PLTA dan PDAM.

Daerah Aliran Sungai merupakan suatu ekosistem yang disusun dan dibangun oleh komponen fisik (tanah), biologi (vegetasi), klimatologi (hujan), dan pengelolaan (manusia). Akibatnya, gangguan pada salah satu komponen akan menyebabkan gangguan (perubahan) pada komponen yang lain. Dari keempat komponen utama tersebut, vegetasi atau hutan merupakan komponen lingkungan yang paling rentan (*fragile*) terhadap perubahan dan menimbulkan dampak yang sangat besar terhadap komponen yang lain (Purwanto dan Ruitjer *dalam* Agus *et al.*, 2004). Penurunan kualitas jasa lingkungan menyebabkan kerugian bagi pengguna jasa sebagai aktor-aktor ekonomi (PLTA, PDAM, dan masyarakat wilayah hulu). Bagi PLTA, jasa lingkungan DAS yang paling mempengaruhi produksi listrik adalah (1) volume air, (2) sedimentasi, dan (3) kualitas kimia air terutama pH dan gas H₂S. Bagi PDAM, jasa lingkungan sumberdaya air yang utama adalah penurunan kualitas kimiawi air dan

peningkatan sedimentasi sehingga menyebabkan peningkatan pengadaan bahan kimia yang diperlukan untuk mengolah air baku menjadi air minum (Sanim, 2003).

Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan tutupan lahan dan karakteristik hidrologis DAS Citarum Wilayah Hulu terhadap nilai ekonomi sumberdaya air bagi pengguna jasa lingkungan (PLTA, PDAM, dan masyarakat hulu DAS).

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu

Penelitian dilakukan di DAS Citarum Wilayah Hulu, 3 PLTA, dan 2 PDAM yang memanfaatkan air sungai Citarum. DAS Citarum Wilayah Hulu merupakan wilayah bagian selatan Waduk Djuanda (Jatiluhur). Tiga PLTA dan dua PDAM yang diteliti adalah UBP Saguling, UP Cirata, PLTA Jatiluhur dan

PDAM Purwakarta serta Thames PAM Jaya-Sektor Buaran. Penelitian berlangsung selama satu tahun mulai Januari sampai dengan Desember 2006. Penelitian ini terdiri atas tiga kegiatan analisis yaitu (1) analisis perubahan tutupan lahan, (2) analisis perubahan karakteristik hidrologis, dan (3) analisis produksi dan biaya marginal lingkungan pengguna jasa (PLTA dan PDAM). Penelitian sosial ekonomi masyarakat hulu dilakukan di empat kecamatan (Batujajar, Cipongkor, Cililin, dan Cihampelas) masing-masing 30 responden.

Metode

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer (analisis peta tataguna lahan dan citra satelit 1992 dan 2002, kualitas kimia air dan kondisi sosial ekonomi masyarakat hulu DAS Citarum) dan data sekunder (kondisi hidrologis DAS Citarum, sedimentasi waduk, produksi energi listrik PLTA dan air minum PDAM) yang secara rinci ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data dan informasi untuk analisis

Table 1. Data and information for analysis

No.	Data dan informasi	Sumber	Metode
1.	Perubahan tutupan lahan 1992-2002.	Bakosurtanal, BBSDLP-Deptan.	<i>Analysis supervised classification</i>
	a. Peta tataguna lahan dan citra satelit multi temporal 1.		
	b. Peta rupa bumi Indonesia (RBI) atau peta topografi.		
2.	Perubahan karakteristik hidrologi, produksi dan biaya lingkungan 1993-2003.	BMG, UBP Saguling, UP Cirata, a.	Teknis pemodelan model debit harian GR4J.
	a. Data curah hujan, evaporasi, debit dan volume air.	PJT II (Jatiluhur), PDAM Purwakarta dan PDAM Thames b.	Teknik valuasi ekonomi <i>replacement cost</i> dan perhitungan <i>willingness to pay</i> (WTP), metode survei <i>contingent valuation method</i> (CVM).
	b. Data sedimentasi 3 waduk hasil pengukuran.	PAM Jaya, Balit Agroklimat dan Hidrologi- Deptan.	
	c. Data kualitas air waduk.		
	d. Data kualitas air baku PDAM.		
	e. Produksi energi listrik 3 PLTA.		
	f. Produksi air minum 2 PDAM		
	g. Laporan keuangan Saguling tahun 2006.		
	h. Biaya pemeliharaan peralatan.		
	i. Penggunaan bahan kimia PDAM.		
	j. Penelitian pihak ketiga yang relevan.		
	k. Profil bisnis 3 PLTA dan 2 PDAM.		
	l. Kondisi sosial ekonomi masyarakat hulu DAS Citarum.		

Metode dan analisis yang digunakan adalah :

- a. Teknis analisis digital (*analysis supervised classification*) dengan alat bantu *software ER mapper* (Puslitbang Tanah dan Agroklimat, 2001), digunakan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.
- b. Model debit harian GR4J (Andressian *et al.*, 2003) digunakan untuk menduga debit, volume air dan sedimentasi (Sa'ad, 2002) di Sub DAS Saguling, Cirata, dan Jatiluhur serta DAS Citarum Wilayah Hulu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.
- c. Metode analisa dan penggunaan bahan serta alat dalam analisis kualitas kimia air antara lain AAS, gravimetri, konduktometri, kolorimetri, iodometri, dan titrimetri (Saeni, 1989).
- d. Valuasi ekonomi menggunakan *replacement cost analysis* (King and Mazotta, 2005) dan perhitungan *willingness to pay* (WTP) menggunakan metode yang dikembangkan Lipper and Zilberman *dalam* van den Berg, 1999, metode survei *contingent valuation method* (CVM) dengan bantuan *software* SPSS dan kurva logit dengan rumus-rumus sebagai berikut :

(1) *Biaya lingkungan produksi listrik (PLTA)*

$$BLPL = BKP + BP$$

dimana :

$$BLPL = \text{biaya lingkungan produksi listrik (Rp MWh}^{-1}\text{)}$$

$$BKP = \text{biaya kehilangan produksi (Rp MWh}^{-1}\text{)}$$

$$BP = \text{biaya pemeliharaan (Rp MWh}^{-1}\text{)}$$

(2) *Biaya kehilangan produksi*

$$BKP = (P_{t+1} - P_t) \times HP$$

dimana :

$$BKP = \text{biaya kehilangan produksi (Rp MWh}^{-1}\text{)}$$

$$P_t = \text{produksi listrik pada tahun } t \text{ (MWh)}$$

$$P_{t+1} = \text{produksi listrik pada tahun } t+1 \text{ (MWh)}$$

$$t = \text{tahun}$$

$$HP = \text{harga penjualan (Rp MWh}^{-1}\text{)}$$

(3) *Biaya pemeliharaan (turbin dan peralatan lain)*

$$BPT = JPT \times BP$$

dimana :

$$BPT = \text{biaya pemeliharaan turbin (Rp tahun}^{-1}\text{)}$$

$$JPT = \text{jumlah pemeliharaan turbin (kali tahun}^{-1}\text{)}$$

$$BP = \text{biaya pemeliharaan (Rp kali}^{-1}\text{)}$$

(4) *Biaya lingkungan produksi air (PDAM)*

$$BLPA = BPK/PA$$

dimana :

$$BLPA = \text{biaya lingkungan produksi air (Rp m}^{-3}\text{)}$$

$$BPK = \text{biaya penggunaan bahan kimia (Rp)}$$

$$PA = \text{produksi air (m}^3\text{)}$$

(5) *Perhitungan WTP hasil CVM*

$$EWTP = \sum_{i=1}^n WiPfi$$

dimana :

$$EWTP = \text{dugaan rata-rata WTP}$$

$$W = \text{batas bawah kelas WTP}$$

$$Pf = \text{frekuensi relatif kelas yang bersangkutan}$$

$$n = \text{jumlah kelas}$$

$$i = \text{kelas ke-}i$$

$$TWTP = \sum_{i=1}^n WiPfi[ni/N]P$$

dimana :

$$TWTP = \text{kesediaan populasi pelanggan rumah tangga untuk membayar}$$

$$WTP = \text{kesediaan individu untuk membayar}$$

$$N = \text{jumlah sampel yang bersedia membayar sebesar WTP}$$

$$P = \text{jumlah populasi pelanggan rumah tangga}$$

$$ni = \text{jumlah sampel ke-}i$$

$$WTP = F(Ps, Jk, Us, Pn, Pd, Bk, Pk, St, Ph)$$

dimana :

$$Ps = \text{persepsi terhadap kualitas lingkungan}$$

$$Jk = \text{jenis kelamin}$$

$$Us = \text{usia}$$

$$Pn = \text{tingkat pendidikan}$$

$$Pd = \text{jumlah pendapatan keluarga}$$

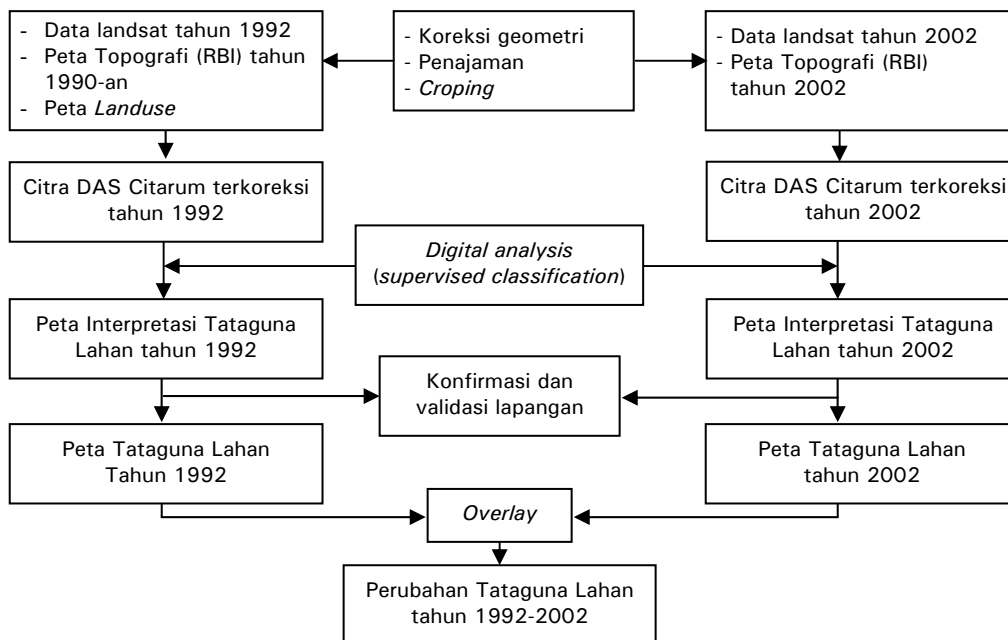
$$Bk = \text{biaya tanggungan keluarga}$$

$$Pk = \text{pekerjaan}$$

$$St = \text{persepsi terhadap ketersediaan air}$$

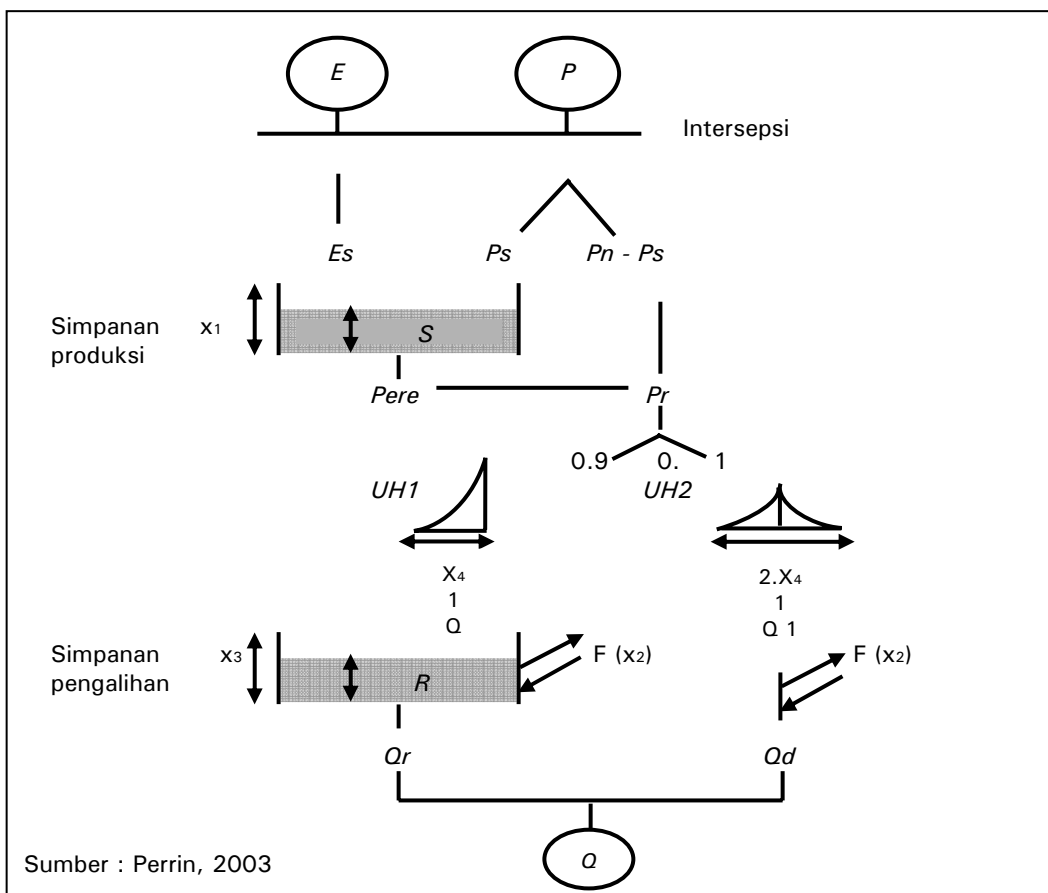
$$Ph = \text{persepsi terhadap usaha perbaikan lingkungan di hulu}$$

- e. Teknik regresi, uji-t dan anova dilakukan pada kelima kegiatan penelitian, termasuk teknik tabulasi dan grafik.



Gambar 1. Diagram alir analisis perubahan penutupan lahan

Figure 1. Flow diagram of landcover change analysis



Gambar 2. Struktur model GR4J

Figure 2. Structure model of GR4J

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan tutupan lahan

Perubahan tutupan lahan merupakan faktor yang berpengaruh sangat penting terhadap karakteristik hidrologis DAS. Hasil interpretasi peta citra dan tataguna lahan 1992 dan 2002 menunjukkan bahwa luas DAS Citarum adalah 704.569 ha yang dapat dibagi menjadi dua wilayah yaitu DAS Citarum Wilayah Hulu seluas 486.237 ha (terdiri atas Sub DAS Saguling 256.758 ha, Sub DAS Cirata 157.118 ha, Sub DAS Jatiluhur 72.361 ha) dan DAS Citarum Wilayah Hilir 218.232 ha. Pada periode tersebut, penambahan terjadi pada kelompok pemukiman sebesar 9,81% (2.404,5 ha) dan perkebunan 5,78% (3.165,7 ha), sedangkan pengurangan terjadi pada luas tutupan lahan hutan 2,88% (3.388,6 ha) dan luas sawah irigasi 2,5% (2.987,0 ha) setiap tahun. Secara grafik perubahan tutupan lahan ditampilkan pada Gambar 3.

Data dan uraian tersebut mengindikasikan bahwa setiap peningkatan laju pemukiman satu satuan, menyebabkan rata-rata penurunan luas lahan hutan di DAS Citarum Wilayah Hulu 3,04 satuan dan setiap pertumbuhan pembukaan lahan perkebunan satu satuan menyebabkan penurunan luas hutan sebesar 1,79 satuan. Besarnya penambahan pemukiman disebabkan oleh tingginya kebutuhan lahan untuk perumahan, perkantoran, industri dan perdagangan, jalan raya dan sarana sosial lainnya. Tingginya penambahan perkebunan terutama disebabkan oleh besarnya pembukaan lahan untuk perkebunan teh, kakao, dan karet.

Perubahan karakteristik hidrologis

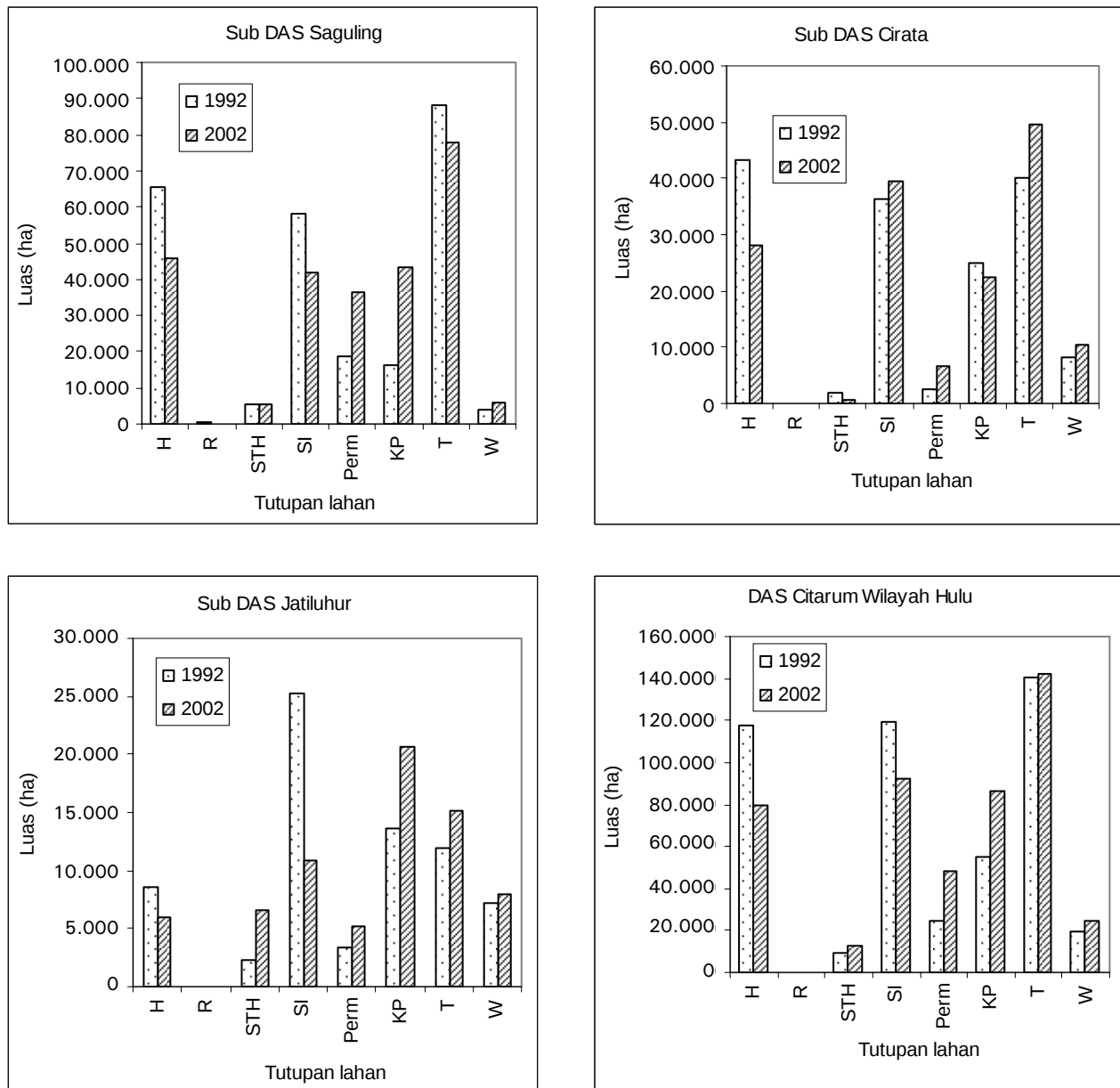
Karakteristik CH, DAML, VAML, $Q_{max-min}$, dan sedimentasi

Jumlah dan distribusi aliran permukaan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain curah hujan, karakteristik biofisik lahan, dan manajemen DAS Citarum Wilayah Hulu. Hasil analisis data curah hujan (CH) harian menunjukkan bahwa CH rata-rata

tahunan di Sub DAS Saguling 2.250,48 mm, Sub DAS Cirata 3.495,46 mm, Sub DAS Jatiluhur 2.637,50 mm, dan DAS Citarum Wilayah Hulu 2.186,62 mm dengan penurunan 60,16 mm.

Hasil uji-t menunjukkan bahwa pengukuran dan hasil simulasi terhadap debit air masuk lokal (DAML), volume air masuk lokal (VAML) dan sedimentasi tidak berbeda nyata (hasil simulasi mendekati keadaan sebenarnya) dengan nilai R kuadrat 0,996 (sub DAS Saguling), 0,994 (sub DAS Cirata), 0,996 (sub DAS Jatiluhur), dan 0,993 (DAS Citarum Wilayah Hulu). Hasil simulasi debit harian dengan model GR4J, Sub DAS Saguling dan DAS Citarum Wilayah Hulu menunjukkan koefisien Nash (kemiripan) rata-rata lebih besar dari 50%, sesuai dengan Andressian *et al.* (2003) dan Perrin *et al.* (2003) hasil simulasinya mendekati keadaan sebenarnya. Model GR4J tersebut juga digunakan untuk menduga sedimentasi yang terjadi di DAS Citarum Wilayah Hulu (dengan beberapa asumsi). Hasil pengolahan data dan simulasi menunjukkan bahwa DAML harian DAS Citarum Wilayah Hulu mengalami penurunan $15,62 \text{ m}^3 \text{ dt}^{-1}$ sampai kenaikan $1,48 \text{ m}^3 \text{ dt}^{-1}$, VAML mengalami penurunan $498,66 \text{ juta m}^3 \text{ tahun}^{-1}$ sampai dengan kenaikan $46,35 \text{ juta m}^3 \text{ tahun}^{-1}$, dan volume sedimen mengalami kenaikan sebesar $12,86\text{--}21,66 \text{ juta m}^3 \text{ tahun}^{-1}$. Rekapitulasi perubahan karakteristik hidrologis disajikan pada Tabel 2.

Gambar 4 menunjukkan bahwa karakteristik CH, DAML, dan VAML hampir seragam (homogen), kecuali (1) tahun 2001-2002 di Sub DAS Saguling, dengan tingkat CH yang relatif sama dengan tahun sebelumnya menghasilkan DAML dan VAML yang lebih tinggi, yang diduga karena semakin tingginya kerusakan lahan di wilayah hulu Sub DAS Saguling, sehingga memperbesar porsi *run off* yang langsung menjadi aliran debit, dan (2) tahun 1998-2001 di Sub DAS Jatiluhur, dengan CH yang tinggi menghasilkan DAML dan VAML yang relatif kecil kemungkinan disebabkan tingginya pemakaian air oleh petani untuk sawah tadah hujan baru di wilayah hulu (laju pertumbuhan sawah tadah hujan 17,94% dalam periode 1992-2002).



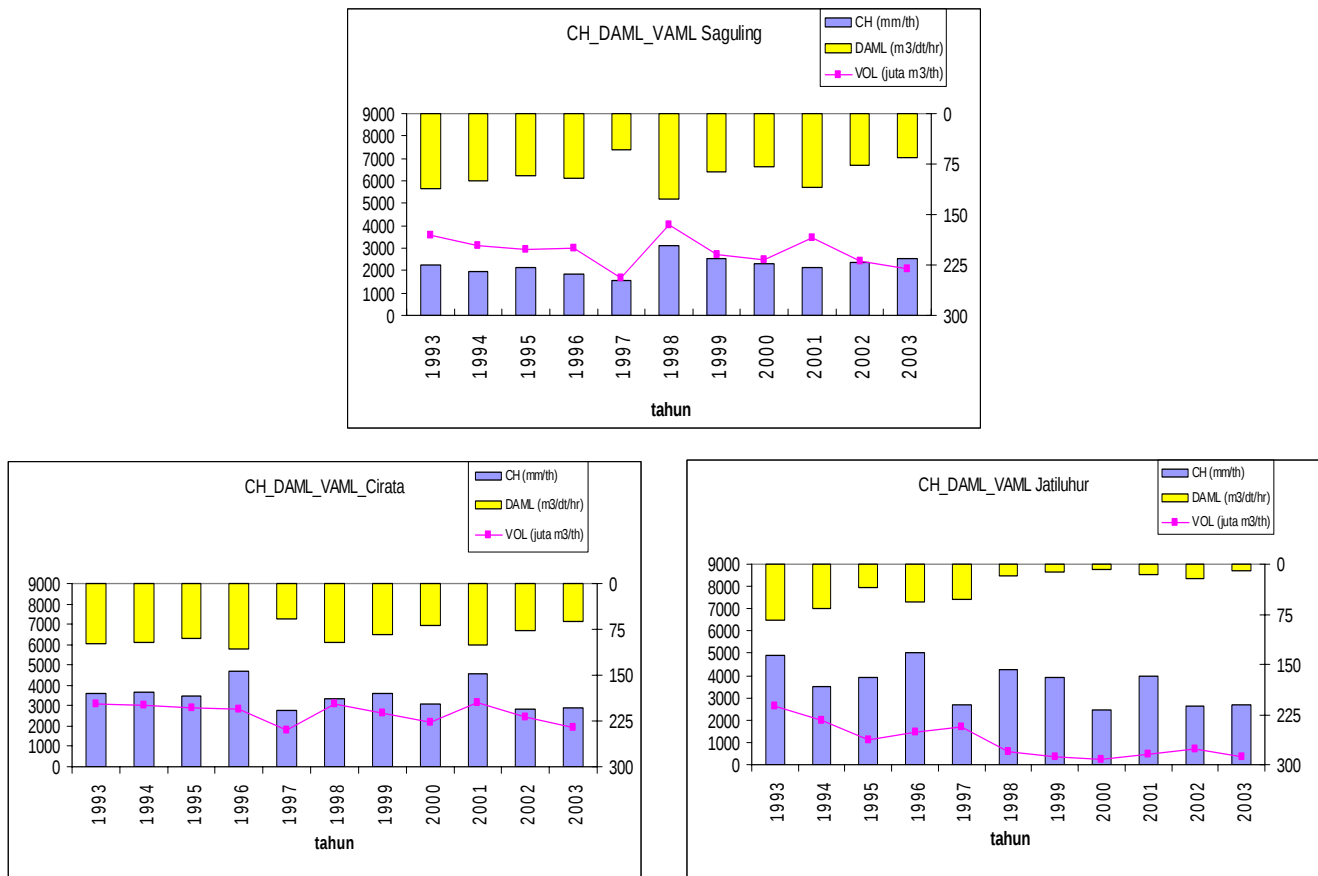
Keterangan : H = Hutan, R = Rawa, STH = Sawah tadah hujan, SI = Sawah irigasi, Perm = Pemukiman, KP = Kebun/perkebunan, T = Tegalan, W = Waduk

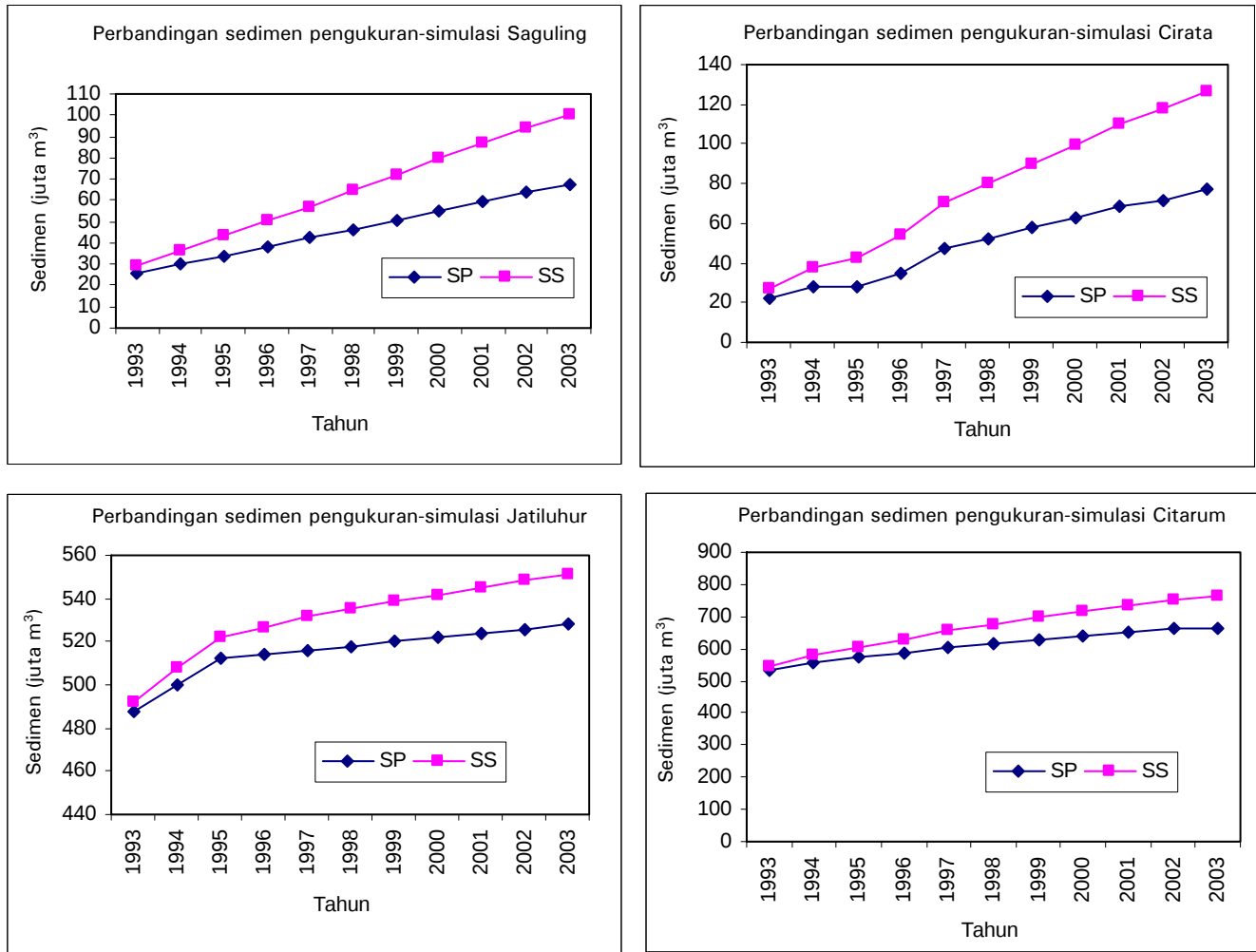
Gambar 3. Grafik perubahan tutupan lahan DAS Citarum Wilayah Hulu 1992 dan 2002

Figure 3. Graph showing landcover changes in upper Citarum watershed, 1992 and 2002

Tabel 2. Perubahan karakteristik hidrologis berdasarkan pengukuran dan simulasi periode 1993-2003*Table 2. Changes in hydrological characteristics based on measurement and simulation, 1993-2003*

Karakteristik	Sub DAS-DAS							
	Saguling		Cirata		Jatiluhur		Citarum Hulu	
	Rata-rata	Perubahan	Rata-rata	Perubahan	Rata-rata	Perubahan	Rata-rata	Perubahan
<i>Pengukuran</i>								
CH tahunan (mm tahun ⁻¹)	2250,48	23,88	3495,46	-71,5	3637,5	-223,45	2186,62	-60,16
DAML harian (m ³ dt ⁻¹)	90,78	-4,67	85,37	-3,57	34,4	-7,37	210,56	-15,62
VAML (juta m ³ tahun ⁻¹)	2865,29	-153,51	2639,85	-112,69	1048,66	-232,45	6553,8	-498,66
Qmax-min	63,26	3,281	178,66	14,398	153,9	6,012	---	---
Sedimen (juta m ³ tahun ⁻¹)	46,54	4,19	50,13	5,50	515,20	4,05	611,07	12,86
<i>Simulasi</i>								
DAML harian (m ³ dt ⁻¹)	87,90	-2,62	83,97	0,24	33,40	0,12	208,89	1,48
VAML (juta m ³ tahun ⁻¹)	2771,98	-82,48	2648,19	7,57	1949,75	3,91	6587,46	46,53
Sedimen (juta m ³ tahun ⁻¹)	64,83	7,11	77,88	9,95	530,85	5,95	668,79	21,66

**Gambar 4. Grafik curah hujan tahunan, debit air masuk lokal (DAML) harian, dan volume air masuk lokal (VAML) tahunan Sub DAS Saguling, Cirata, dan Jatiluhur pada periode 1993-2003***Figure 4. Graph showing annual rainfall, daily local inflow, and annual local water volume of Saguling, Cirata, and Jatiluhur catchment, 1993-2003*



Gambar 5. Grafik perbandingan antara volume sedimen hasil pengukuran (SP) dengan volume sedimen hasil simulasi (SS) 3 waduk berdasarkan tahun inisial 1993

Figure 5. Graph showing comparison between sediment volume from measurement (SP) and from simulation (SS) of 3 dams based on initial year of 1993

Penambahan luas pemukiman dan penurunan luas hutan berpengaruh nyata terhadap DAML, VAML dan sedimentasi. Variabel hutan berpengaruh positif terhadap DAML, VAML, dan sedimentasi. Artinya, penambahan luas hutan akan menyebabkan peningkatan DAML, VAML, dan menurunkan sedimentasi. Sementara itu, variabel pemukiman berpengaruh negatif terhadap DAML, VAML, dan sedimentasi. Artinya peningkatan luas pemukiman menyebabkan penurunan DAML, VAML, dan meningkatkan sedimentasi. Kondisi tersebut diduga terjadi akibat evaporasi air dari badan-badan air (waduk dan sungai) lebih kecil dibandingkan dengan

evapotranspirasi vegetasi terutama hutan, dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama dengan skala luasan yang besar. Hal ini menyebabkan jumlah air yang dapat ditransportasikan ke atmosfer mengalami penurunan dari waktu ke waktu, sehingga curah hujan juga mengalami penurunan (Pawitan, 2003).

Gambar 5 menunjukkan perubahan sedimentasi berdasarkan pengukuran berdasarkan simulasi. Menurut Pawitan (1999) dalam Agus *et al.* (2004) perubahan pola penggunaan lahan berdampak pada penurunan ketersediaan air wilayah, akibat meningkatnya fluktuasi musiman dengan gejala

banjir dan kekeringan yang semakin ekstrim, sedangkan pengaruhnya terhadap erosi sangat spesifik lokasi. Selanjutnya, Pawitan (2002) dalam Suryani dan Agus (2005) mengemukakan bahwa perubahan penggunaan lahan akan memperluas permukaan kedap air sehingga menyebabkan berkurangnya infiltrasi, menurunnya pengisian air bawah tanah (*ground water recharge*) dan meningkatkan aliran permukaan. Akan tetapi, Asdak (2004) menyatakan bahwa perubahan vegetasi hutan menjadi non vegetasi hutan telah menyebabkan kenaikan hasil air total, terutama disebabkan meningkatnya *run off* yang langsung menjadi aliran, penurunan evapotranspirasi dan penurunan *base flow*. Dengan demikian, penurunan debit dan volume serta peningkatan sedimentasi disebabkan oleh penurunan curah hujan dan perubahan tutupan lahan. Rata-rata rasio fluktuasi debit ($Q_{\max}-\min$) DAS Citarum Wilayah Hulu periode 1993-2003 adalah 131,94. Nilai rasio $Q_{\max}-\min$ yang tinggi (lebih besar dari 40) mengindikasikan wilayah hulu Sub DAS berada pada kondisi yang kritis (Boer *et al.*, 2004). Berdasarkan kriteria tersebut, dapat dikatakan bahwa kondisi ekosistem DAS Citarum Wilayah Hulu termasuk kritis (buruk).

Perubahan karakteristik kualitas air PLTA

Kualitas air waduk sangat dipengaruhi oleh kualitas lingkungan DAS Citarum Wilayah Hulu, sedangkan kualitas lingkungan tersebut dipengaruhi

oleh perubahan pada tutupan lahan dan penggunaan lahan. Keragaman limbah (polusi) dan peningkatan atau penurunan kadarnya akan mempengaruhi proses teknis pembangkitan energi listrik dan proses penjernihan air baku PDAM serta kehidupan biologi perairan. Hasil analisis kualitas air disajikan pada Tabel 3.

Tabel tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan suhu (mendekati 1°C), peningkatan kekeruhan hingga 199,09 NTU (Saguling) dan 97,30 NTU (intake TPJ), penurunan pH, penurunan oksigen terlarut $3,23 \text{ mg l}^{-1}$ (Saguling), penurunan COD $17,41 \text{ mg l}^{-1}$ (Saguling), peningkatan BOD₅ sebesar $30,8 \text{ mg l}^{-1}$ (Saguling), peningkatan muatan padatan tersuspensi $82,29 \text{ mg l}^{-1}$ (Cirata) dan kenaikan kadar limbah domestik seperti fenol, minyak, dan lemak serta *fecal coliform*. Dengan kondisi kualitas seperti ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi perairan tiga waduk dan TPJ telah mengalami degradasi dari skala ringan sampai berat.

Perubahan produksi PLTA dan PDAM

Produksi energi listrik PLTA selain ditentukan oleh faktor-faktor kapasitas terpasang tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kuantitas dan kualitas air sebagai energi pembangkit. Pada Tabel 4 disajikan perubahan produksi energi listrik berdasarkan pengukuran dan simulasi dengan menggunakan VAML hasil model GR4J dan *standard water conversion* (SWC) sebesar $4,985 \text{ m}^3$ per 1 kWh. Dari

Tabel 3. Perubahan kualitas kimia air waduk PLTA (1993-2003) dan intake TPJ (2001-2005)

Table 3. Change in the quality of water chemistry of HEPPs and TPJ intake (2001-2005)

No.	Parameter	Saguling	Cirata	Jatiluhur	TPJ
1.	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	0,12	0,84	-0,9	0,33
2.	Daya hantar listrik ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$)	159,2	97,61	-165,72	-59,45
3.	Kekeruhan (NTU)	199,09	28,12	-31,58	97,30
4.	pH	-0,24	-1,1	0,52	0,16
5.	DO (mg l^{-1})	-3,23	-0,37	-1,73	---
6.	COD (mg l^{-1})	-17,41	17,13	3,47	4,55
7.	BOD ₅ (mg l^{-1})	-30,08	6,52	2,43	-5,4
8.	Bahan organik (mg l^{-1})	---	---	---	1,35
9.	Total koliform (MPN/100l)	---	---	---	-28×10^3

Keterangan : Hasil pengolahan data sekunder hasil pemantauan kualitas air waduk triwulanan periode 1993-2004

Tabel 4. Perubahan produksi listrik berdasarkan pengukuran dan simulasi*Table 4. Change in electric production based on measurement and simulation*

No.	Produksi	Satuan	Rata-rata per tahun	Perubahan per tahun
<i>Pengukuran</i>				
1.	PLTA Saguling	juta kWh	2.358.732,49	-97.163,70
2.	PLTA Cirata	juta kWh	1.385.191,70	-65.064,90
3.	PLTA Jatiluhur	juta kWh	809.946,71	-50.411,11
4.	Total 3 PLTA	juta kWh	4.553.870,90	-212.639,70
5.	Tirta Dharma	ribu m ³	586.909,58	5715,00
6.	PAM Jaya	juta m ³	143,50	0,36
<i>Simulasi</i>				
1.	PLTA Saguling	juta kWh	556,06	-20,27
2.	PLTA Cirata	juta kWh	531,23	-24,25
3.	PLTA Jatiluhur	juta kWh	210,58	-49,11
4.	3 PLTA	juta kWh	1.321,46	-97,14

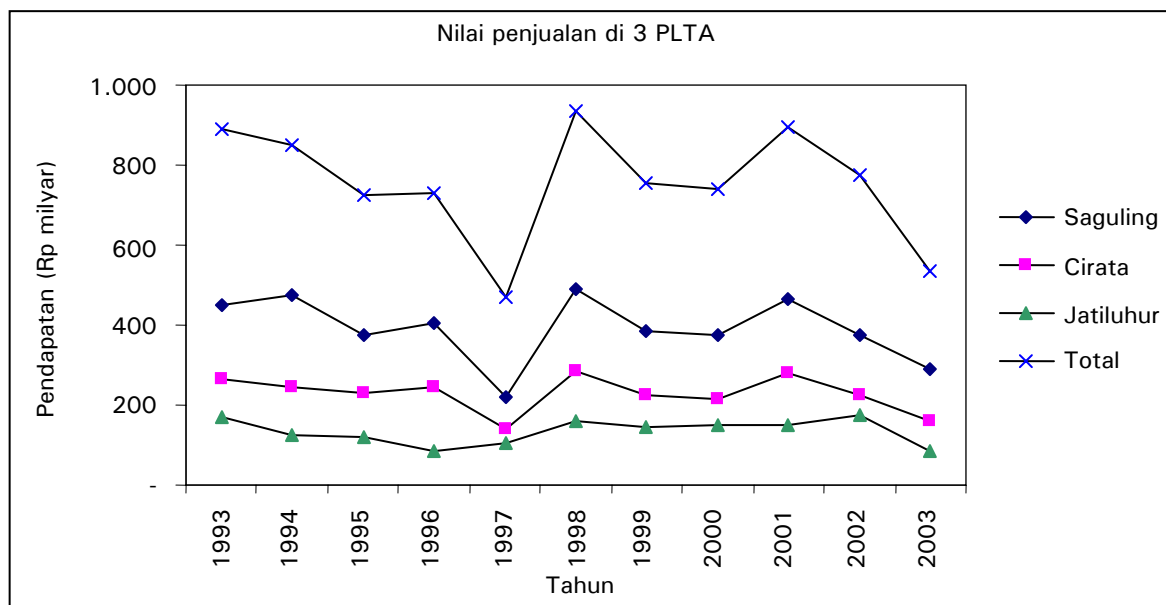
tabel tersebut diketahui bahwa selama periode 1993-2003 rata-rata produksi listrik PLTA Saguling adalah 2,358 miliar MWh tahun⁻¹ (turun 97,163 juta MWh tahun⁻¹), PLTA Cirata 1.385 miliar MWh tahun⁻¹ (turun 65,064 juta MWh tahun⁻¹), PLTA Jatiluhur 809,946 juta MWh tahun⁻¹ (turun 50,411 juta MWh tahun⁻¹) dan 3 PLTA 4,554 miliar MWh tahun⁻¹ (turun 212,639 juta MWh tahun⁻¹). Hasil uji-t menunjukkan bahwa VAML memiliki hubungan dengan nilai *r* sebesar 0,6-0,8 dan berpengaruh nyata terhadap produksi energi listrik di ketiga PLTA.

Penurunan produksi listrik di ketiga PLTA tersebut terutama disebabkan turunnya DAML dan VAML yang masuk ke dalam waduk. Faktor utama lain adalah tidak beroperasinya turbin pada saat *cooler* turbin di-*overhaull* (akibat besarnya sedimen yang masuk dalam partisi *water cooler*). Dari PLTA Saguling diperoleh informasi bahwa *cooler* turbin telah mengalami *overhaull* dua kali (dalam 20 tahun), sedangkan menurut spesifikasi teknisnya (garansi perbaikan) *overhaull* dilakukan 1 kali dalam 30-35 tahun. Kedua faktor ini (volume air dan sedimentasi) merupakan faktor utama penyebab kehilangan kesempatan produksi listrik PLTA. Potensi kehilangan kesempatan berproduksi ketiga PLTA juga diprediksi dengan menggunakan konversi air standar (SWC) sebesar 4,985 m³ per 1 kWh dan perubahan VAML hasil simulasi GR4J.

Produksi air minum PDAM Tirta Dharma Purwakarta yang diteliti adalah yang bersumber air baku dari Ubrug (waduk Jatiluhur). Dari sisi produksi, PDAM Tirta Dharma Purwakarta memproduksi air minum sebesar 2,35 juta m³ tahun⁻¹, dengan kenaikan rata-rata 7,2% tahun⁻¹. Peningkatan produksi tersebut belum dapat memenuhi peningkatan kebutuhan masyarakat Purwakarta yaitu sebesar 12% tahun⁻¹. Produksi air minum PT. Thames PAM Jaya relatif stabil pada tingkat 143,5 juta m³ tahun⁻¹ sejak 1998 sampai dengan 2005. Pada periode 1998-2000 terjadi penurunan produksi, 2000-2004 mengalami kenaikan dan menurun kembali pada tahun 2004-2005. Penurunan produksi pada 1998-2000 dikarenakan adanya konsolidasi perusahaan (PDAM DKI Jaya diakuisisi oleh Thames Water Ltd.), sedangkan pada periode 2004-2005 penurunan produksi disebabkan oleh pengalihan sumber air baku air minum dari yang semula Sungai Ciliwung menjadi Sungai Citarum (Kanal Tarum Barat).

Perubahan biaya lingkungan

Ketiga PLTA mengalami kerugian akibat penurunan pendapatan dan peningkatan biaya pemeliharaan yang cukup tinggi. Pada Gambar 6 disajikan perubahan pendapatan PLTA Saguling, Cirata, dan Jatiluhur 1993-2003 dengan kecenderungan yang semakin menurun. Kerugian ketiga PLTA tersebut



Gambar 6. Grafik perubahan pendapatan PLTA Saguling, Cirata, dan Jatiluhur 1993-2003

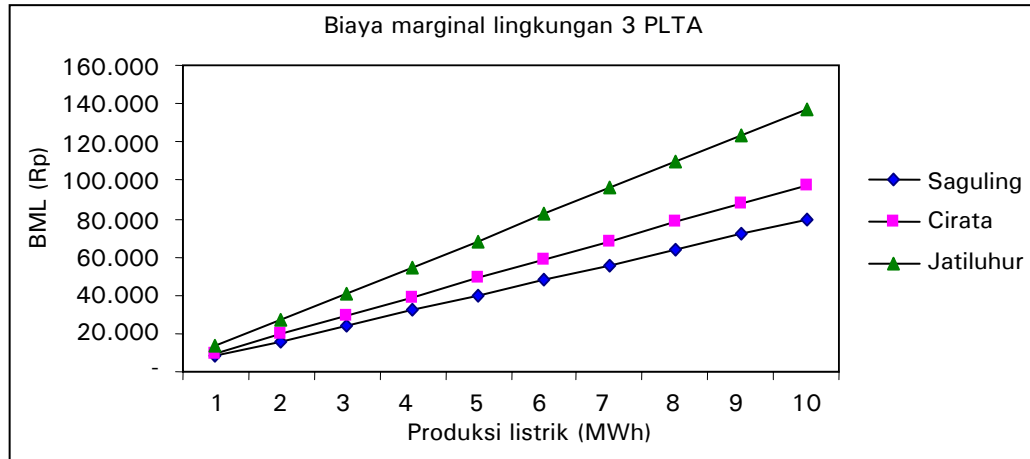
Figure 6. Graph showing change in HEPP income of Saguling, Cirata, and Jatiluhur, 1993-2003

merupakan “pendapatan yang hilang” sebagai akibat degradasi kualitas lingkungan dan ekosistem hulu DAS Citarum. Untuk menjaga kontinyuitas produksi energi listrik pada tingkat tertentu diperlukan pemeliharaan. Meningkatnya intensitas pemeliharaan peralatan produksi seperti *water cooler*, turbin, peralatan berbahan logam dan pemeliharaan waduk disebabkan oleh semakin meningkatnya sedimentasi dan penurunan kualitas kimiawi air. Pemeliharaan turbin dan *water cooler* dilakukan satu kali dalam 10 tahun (menurut spesifikasi dan garansi, seharusnya pemeliharaan dilakukan sekali dalam 30-35 tahun) dan pemeliharaan waduk dilakukan rutin setiap tahun. Apabila diasumsikan bahwa biaya perawatan alat produksi utama energi listrik (turbin) di ketiga PLTA adalah sama seperti PLTA Saguling (Rp 8,215 miliar per tahun), maka total kerugian yang diderita adalah Rp 18,835 miliar (PLTA Saguling), Rp 13,514 miliar (PLTA Cirata), Rp 11,088 miliar (PLTA Jatiluhur), dan Rp 43,438 miliar (3 PLTA) setiap tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan kerugian dengan menggunakan penurunan VAML hasil simulasi dan konversi $SWC = 4,985 \text{ m}^3 \text{ kWh}^{-1}$ maka diperoleh

hasil sebesar Rp 3,36 miliar (PLTA Saguling), Rp 4,02 miliar (PLTA Cirata), Rp 8,14 miliar (PLTA Jatiluhur), dan total Rp 16,15 miliar (3 PLTA). Apabila diasumsikan biaya pemeliharaan besarnya tetap (Rp 8,22 miliar), maka total kerugian berdasarkan simulasi bagi PLTA menjadi Rp 11,57 miliar (PLTA Saguling), Rp 12,23 miliar (PLTA Cirata), Rp 16,35 miliar (PLTA Jatiluhur) dan total Rp 40,16 miliar (3 PLTA) per tahun. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kerugian ekonomi yang di derita 3 PLTA sebagai akibat penurunan volume air dan kualitas kimiawi air serta peningkatan sedimentasi adalah berkisar antara Rp 40,16 miliar-Rp 43,44 miliar atau sebesar Rp 8.818-Rp 9.539 per MWh listrik yang dihasilkan atau Rp 3,04-Rp 3,29 per m^3 air yang digunakan setiap tahun. Biaya marginal lingkungan (BML) 3 PLTA disajikan pada Gambar 7.

Komponen biaya dalam pengolahan air baku menjadi air bersih (minum) adalah (1) pemeliharaan peralatan produksi dan (2) penggunaan bahan kimia. Besarnya biaya pemeliharaan yang dikeluarkan oleh PDAM Tirta Dharma Purwakarta (sumber air baku



Gambar 7. Biaya marginal lingkungan 3 PLTA

Figure 7. Marginal environmental cost of 3 hydroelectric power plans

Tabel 5. Biaya marginal lingkungan 3 PLTA dan 2 PDAM

Figure 5. Marginal environmental cost of 3 hydroelectric power plans and 2 regional drinking water companies

No.	Uraian	PLTA				3 PLTA	PDAM		
		Saguling	Cirata	Jatiluhur	Tirta Dharma		Thames PAM Jaya		
							Rata-rata	Perubahan	
1.	Produksi energi listrik (juta MWh tahun ⁻¹)	2,36	1,39	0,81	4,55	-	-	-	
2.	Volume air yang digunakan (juta m ³ tahun ⁻¹)	2.590,57	5.092,34	5.520,16	13.203,07	-	-	-	
3.	Kerugian								
	3.1. Berdasarkan perhitungan (Rp juta tahun ⁻¹)	18.835,44	13.514,44	11.088,44	43.438,32	-	-	-	
	3.2. Berdasarkan simulasi (Rp juta tahun ⁻¹)	11.573,00	12.232,00	16.350,00	40.155,00	-	-	-	
4	Perbandingan antara biaya produksi dengan produksi listrik								
	4.1. Menurut perhitungan (3,1:1) (Rp MWh ⁻¹)	7.985	9.756	13.690	9.539	-	-	-	
	4.2. Menurut simulasi (3,2:1) (Rp MWh ⁻¹)	4.906,45	8.830,55	20.186,51	8.818	-	-	-	
5.	Perbandingan antara biaya dengan volume air yang digunakan								
	5.1. Menurut pengukuran (3,1:2) (Rp m ⁻³)	7,27	2,65	2,01	3,29	-	-	-	
	5.2. Menurut simulasi (3,2:2) (Rp m ⁻³)	4,47	2,40	2,96	3,04	-	-	-	
6.	Biaya marginal lingkungan (Rp m ⁻³)	-	-	-	-	212,43	821,46	64	

dari Ubrug) setiap tahun sebesar Rp 41,56 juta,- (laju kenaikan sebesar 4,0% per tahun). Kenaikan komponen biaya bahan kimia PT. Thames Jaya adalah sebesar Rp 87,32 juta per tahun selama kurun waktu 1998-2005 (10,61%) atau Rp 64,00,- per m³ biaya produksi air minum. Peningkatan penggunaan bahan kimia ini menunjukkan semakin rendahnya mutu (kualitas) air baku air minum

(Tarum Kanal Barat-Citarum) yang diproses. Ketersediaan PDAM membayar biaya marginal (tambahan) tersebut merupakan kompensasi untuk mempertahankan kegunaan (*utility*) sumberdaya air pada tingkat tertentu (sebagai air minum). Pada Tabel 5 disajikan hasil analisis terhadap biaya marginal lingkungan di ketiga PLTA dan kedua PDAM.

Hasil survei CVM terhadap masyarakat hulu Waduk Saguling memperlihatkan bahwa responden di empat kecamatan sebagian besar atau 97% (117 KK) menyatakan keberadaan waduk Saguling sangat penting bagi mereka dan sangat sedikit (3 KK) yang menyatakan tidak penting. Akan tetapi hanya 52 KK (43%) yang selalu berpartisipasi dalam upaya perbaikan lingkungan hulu Sub DAS, sedangkan 68 KK (57%) tidak berpartisipasi. UBP Saguling membentuk kader-kader pelestari lingkungan di setiap desa/kecamatan di seluruh wilayah Sub DAS Saguling. Kesiediaan membayar masyarakat hulu hasil analisis logit WTP adalah rata-rata sebesar Rp 28,33,- m⁻³ air bersih.

Hasil analisis regresi logit kesiediaan masyarakat dalam membayar perbaikan lingkungan di hulu DTA Saguling ada tiga variabel yang signifikan yang berpengaruh terhadap WTP (taraf nyata $\alpha = 5,2\%$ dan $R = 83\%$), yaitu kebutuhan air (kesediaan membayar setara dengan peningkatan kebutuhan akan air), jumlah tanggungan (kesediaan membayar meningkat 3 kali lebih besar bila jumlah tanggungan menurun) dan pendapatan (kesediaan membayar setara dengan peningkatan pendapatan).

Bagi pengguna jasa lingkungan (sumberdaya air) seperti halnya PLTA dan PDAM, penurunan kuantitas dan kualitas kimiawi air serta peningkatan sedimentasi menimbulkan tambahan biaya (*marginal cost*) yang terus meningkat dari tahun ke tahun (Pearce *et al.*, 1994; King and Mazzotta, 2005). Selanjutnya, menurut Johansson dalam Folmer dan Gabel (2000) menyatakan bahwa pengguna jasa bersedia membayar karena harus mempertahankan kegunaan (*compensation variation*) dan kualitas sumberdaya air (*equivalent variation*) dalam memproduksi barang dan jasa. Semakin tinggi degradasi kualitas lingkungan, semakin besar tambahan biaya yang harus dikeluarkan oleh pengguna jasa untuk mendapatkan tingkat kepuasan yang sama (*indifferent*).

Di sisi lain, kerugian yang diderita sebagai akibat degradasi kuantitas dan kualitas sumberdaya air merupakan *opportunity cost* atas kerusakan ekosistem wilayah hulu DAS Citarum atau

merupakan *opportunity benefit* PLTA dan PDAM "yang hilang". Artinya, apabila tambahan biaya yang dibayarkan oleh PLTA dan PDAM digunakan untuk merehabilitasi dan melakukan tindakan konservasi (*guardian and stewardship*), maka secara alamiah PLTA dan PDAM akan mendapatkan tambahan keuntungan (*marginal benefit*) seiring dengan perbaikan kuantitas dan kualitas sumberdaya air yang dihasilkan oleh ekosistem wilayah hulu DAS Citarum. Dengan demikian, pembayaran tambahan biaya yang dikeluarkan oleh PLTA dan PDAM bukanlah biaya tetapi merupakan investasi jangka panjang yang menguntungkan (Landel-Mills and Porras, 2002; van Noordwijk *et al.*, 2004).

Investasi tersebut merupakan kompensasi (*transfer of payment*) dari hilir (pengguna atau konsumen) ke hulu (produsen atau penyedia). Wilayah hulu DAS Citarum telah menghasilkan jasa lingkungan dan dari wilayah hilir seharusnya mengalirkan uang berupa investasi lingkungan dalam bentuk pemberian beban (*charge*) bagi pengguna jasa lingkungan per produk yang dihasilkan untuk konservasi ekosistem sebagai *replacement cost*. Apabila transaksi pembayaran seperti ini terjadi, menunjukkan bahwa telah ada aliran bahan dan energi (uang) dari hilir ke hulu, ada ketergantungan dan keterkaitan antara hilir dan hulu serta telah menjadi suatu sistem yang terintegrasi (ekosistem). Pada kondisi (*state of nature*) seperti ini akan terjadi internalisasi pendekatan lingkungan dalam masalah ekonomi, sehingga pengelolaan DAS dan sumberdaya air secara berkelanjutan akan terwujud.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Selama periode 1992-2002, DAS Citarum Wilayah Hulu (486.237 ha) mengalami perubahan tataguna lahan yang berakibat pada perubahan tutupan lahan. Laju pertambahan tertinggi terjadi pada pembukaan lahan untuk pemukiman (9,81% atau 2.404,5 ha), disusul perkebunan (5,7% atau 3.163,7 ha), sawah tadah hujan

(3,31% atau 314,9 ha), dan tegalan (0,15% atau 211,9 ha) setiap tahun. Laju penurunan tertinggi terjadi pada hutan (3,23% atau 3.804,2 ha) dan sawah irigasi (2,28% atau 2.721,4 ha) per tahun.

2. Perubahan karakteristik hidrologis yang terjadi periode 1993-2003 di DAS Citarum Wilayah Hulu adalah penurunan debit air masuk lokal (DAML) sebesar 7,42% ($15,62 \text{ m}^3 \text{ dt}^{-1}$), volume air masuk lokal (VAML) 7,61% (498,66 juta m^3), debit air keluar (DAK) 4,83% ($20,62 \text{ m}^3 \text{ dt}^{-1}$) dan volume air keluar (VAK) 4,92% (650,18 juta m^3) setiap tahun. Pada periode yang sama terjadi kenaikan rasio $Q_{\text{max-min}}$ 5,99% (rata-rata 131,94) dan kenaikan sedimentasi di waduk Saguling sebesar 4,19-7,11 juta $\text{m}^3 \text{ tahun}^{-1}$, Sub DAS Cirata 5,50-9,95 juta $\text{m}^3 \text{ tahun}^{-1}$, Sub DAS Jatiluhur 4,05-5,95 juta $\text{m}^3 \text{ tahun}^{-1}$, dan DAS Citarum Wilayah Hulu 12,86-21,66 juta $\text{m}^3 \text{ tahun}^{-1}$. Karakteristik kualitas air mengalami penurunan ditandai dengan naiknya konsentrasi kekeruhan, BOD_5 , logam berat, senyawa organik dan limbah domestik serta turunnya kadar DO, COD dan pH.
3. Perubahan karakteristik hidrologis dan kualitas air DAS Citarum Wilayah Hulu telah menyebabkan penurunan produksi energi listrik PLTA sebesar 0,213-0,774 juta MWh (total 3 PLTA) dengan kerugian ekonomi berkisar antara Rp 40,16 miliar-Rp 43,44 miliar setiap tahun atau Rp 4.188-Rp 9.538 per MWh atau Rp 1,47-Rp 3,29 per m^3 air yang digunakan PLTA. Kerugian yang diderita PDAM Tirta Dharma Purwakarta adalah Rp 212,43,- m^3 dan PT Thames PAM Jaya Rp 821,46,- m^3 dengan marginal biaya lingkungan (akibat penambahan bahan kimia) sebesar Rp 64,0,- m^3 air minum yang dihasilkan PDAM.
4. Perubahan karakteristik hidrologis dan kualitas air DAS Citarum Wilayah Hulu serta kerugian ekonomi yang ditimbulkannya pada PLTA dan PDAM diduga disebabkan oleh perubahan tutupan (tutupan) lahan di wilayah hulu dan

faktor klimatologi terutama jumlah curah hujan pada periode 1993-2003.

Saran

1. Diperlukan pengendalian konversi lahan DAS Citarum Wilayah Hulu terutama lahan-lahan yang diperuntukkan untuk kawasan konservasi.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut berkaitan dengan pengaruh kualitas lingkungan DAS terhadap biaya eksternalitas pengguna air Citarum yang lain seperti industri, wisata dan olahraga air, perikanan termasuk kolam jaring apung (KJA) dan sawah irigasi.
3. Hasil penelitian ini perlu sosialisasi dan validasi sehingga dapat digunakan sebagai *bench-mark* data untuk penetapan nilai jasa lingkungan DAS bagi pengguna sumberdaya air. Besaran nilai tersebut menjadi pedoman mekanisme kompensasi antara pengguna jasa lingkungan (hilir) dengan penyedia jasa lingkungan (hulu) sebagai *replacement cost* bagi perbaikan dan investasi konservasi sumberdaya alam dan lingkungan.
4. Diperlukan revisi UU Nomor 23 tahun 1987 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, UU Nomor 41 tahun 1999 tentang Kehutanan, UU Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumberdaya Air dan UU tentang Penanaman Modal, yaitu dengan menginternalisasi mekanisme dan besaran nilai kompensasi hulu-hilir dalam Undang-Undang tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., H. Pawitan, dan E. Husen. 2004. Prosiding Seminar Multifungsi Pertanian dan Konservasi Sumberdaya Lahan. Puslitbang Tanah dan Argoklimat. Badan Litbang Pertanian Departemen Pertanian. Bogor.
- Andreassian, V., E. Parent, and C. Michel. 2003. Using a parsimonious rainfall-run off model to detect non-stationarities in the hydrological behaviour of watersheds. *Journal of Hydrology* 279(1-4):458-463.

- Asdak, C. 2004.** Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press (Cetakan ketiga). Yogyakarta.
- Boer, R., Dasanto B. D., Perdinan, Delon, and Faqih. 2004.** Assessing the Impact of Land Use Change and Climate Change on River Flow at Citarum Upper Catchments. Laboratory of Climatology. Department of Geophysics and Meteorology. Bogor Agriculture University. Bogor.
- Folmer, H. and H.L. Gabel. 2000.** Principle of Environmental and Resource Economics : A Guide for Student and Decision-Makers. Second Edition.
- Jasa Tirta II. 2005.** Welcome to Jatiluhur. Jasa Tirta II Public Corporation. Purwakarta.
- King, D.M. and M. Mazzotta. 2005.** Ecosystem valuation. USDA. Natural Resources Conservation Service and National Oceanographic and Atmospheric Administration.
- Landell-Mills, N. and T.I. Porras. 2002.** Silver Bullet or Fools' Gold? A Global Review of Markets for Forest Environmental Services and their Impact on Poor. International Institute for Environment and Development (IIED). London
- Pawitan, H. 2003.** Perubahan iklim global dan dampaknya terhadap masa depan sumberdaya air dan ketersediaan air Indonesia. Hlm 35-49. *Dalam* Prosiding Seminar Hari Air Sedunia. Jakarta.
- Pearce, D.W., R.K. Turner, and I. Bateman. 1994.** Economics of Natural Resources and the Environment. New York: Harvester Wheat-sheaf.
- Perrin, C., C. Michel, and V. Andréassian. 2003.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology 279(1-4):275-289.
- Puslitbang Tanah dan Agroklimat, 2001.** Petunjuk Teknis Analisis Citra Satelit untuk Identifikasi dan Inventarisasi Lahan Sawah. Departemen Pertanian. Bogor
- Sa'ad, N.S. 2002.** Pendugaan Erosi Skala Daerah Aliran Sungai Berdasarkan Erosi pada Lahan. Disertasi Program Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Saeni, M.S. 1989.** Kimia Lingkungan. Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat, IPB.
- Sanim, B. 2003.** Ekonomi sumberdaya air dan manajemen pengembangan sektor air bersih bagi kesejahteraan publik. Orasi ilmiah guru besar tetap bidang ilmu ekonomi sumberdaya dan lingkungan, Faperta IPB. Bogor.
- Suryani, E. dan F. Agus. 2005.** Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya Terhadap Karakteristik Hidrologi : Suatu Studi di DAS Cijalupang, Bandung, Jawa Barat. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Van den Bergh, J.C.J.M. 1999.** Handbook of Environmental and Resource Economic. Edward Elgar. UK-USA.
- Van Noordwijk, M., F. Chandler, and T.P. Tomich. 2004.** An introduction to the conceptual basis of RUPES. ICRAF. Bogor. p 46.