

## PRA MODEL PENGELOLAAN KUALITAS SUNGAI CITARUM HULU

Eko Harsono dan Tuahta Tarigan

Pusat Penelitian Limnologi

### ABSTRACT

*Watershed of upper Citarum river which has area of 177100 ha, lies in Bandung old lake. Its watershed includes city Bandung and regency of Bandung then as main supply of Saguling reservoir (used for generation of electric and fisheries). This study is aimed to management then for improving Citarum river water quality. The completely in order the river water a solution with model. The model consists of three sub-models, there are runoff-hydrograph by a reformed tank model, estimation of discharge load (COD, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, and NH<sub>3</sub>) using loading-factor method, and runoff-pollutograph by a reformed tank model. The models were calibrated to the water quality and daily discharge data series of river of upper Citarum (at Nanjung station). The computer models show the run-hydrograph and run-pollutograph models tend to follow the observed data of the river of upper Citarum. The simulated model indicated at buildup area as non-point sources contributed to BOD in flow load with increasing tendency of 2 % to 5 % during 9 years. Contribution COD inflow load from point sources increasing from 40 % to 60 % for population and non-point sources are constant at 12 % for paddy field, 1 % for plantation and dry field during 9 years.*

**Key words:** water quality, inflow load, model, hydrograph and pollutograph

### ABSTRAK

*Daerah tangkapan (DAS) Citarum hulu mempunyai luas sekitar 177100 ha, meliputi kota Bandung dan kabupaten Bandung yang terletak di danau tua. Sungai Citarum selain kegunaannya sebagai buangan limbah pabrik dan penduduk disekitar sungai, juga berfungsi sebagai penggerak listrik dan perikanan (jarring apung) di waduk Saguling dihilinya. Oleh karena kompleksnya pemanfaatan sungai ini, maka diperlukan suatu pendekatan pengelolaan di DAS Citarum tersebut. Penelitian ini tujuannya adalah untuk memperbaiki kualitas sungai Citarum dengan pendekatan simulasi model, yaitu simulasi-simulasi pengelolaan DAS Citarum. Penetapan model dengan tiga sub-model yaitu, hidrograf aliran, debit beban (COD, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, and NH<sub>3</sub>), dan polutograf aliran dengan model tangki. Model dikalibrasi dari debit serta kualitas air harian sungai Citarum yang terukur di stasion Nanjung. Dari model kelihatan hidrograf dan polutograf aliran, cenderung sama antara model dengan pengukuran, sehingga model layak untuk pendugaan pemasukan beban. Dari model menunjukan bahwa, sumbangan kawasan terbangun sebagai non-point sources terhadap beban masukan BOD mengalami peningkatan dari 2 % ke 5 % selama 9 tahun. Sumbangan COD dari point sources bertambah dari 40 % ke 60 % untuk penduduk, sedangkan COD dari non-point sources tetap sebesar 12 % untuk sawah, 1 % untuk perkebunan dan lading selama 9 tahun.*

**Kata kunci:** Kualitas air, Debit beban, Model, Hidrograf dan polutograf

## 1. PENDAHULUAN

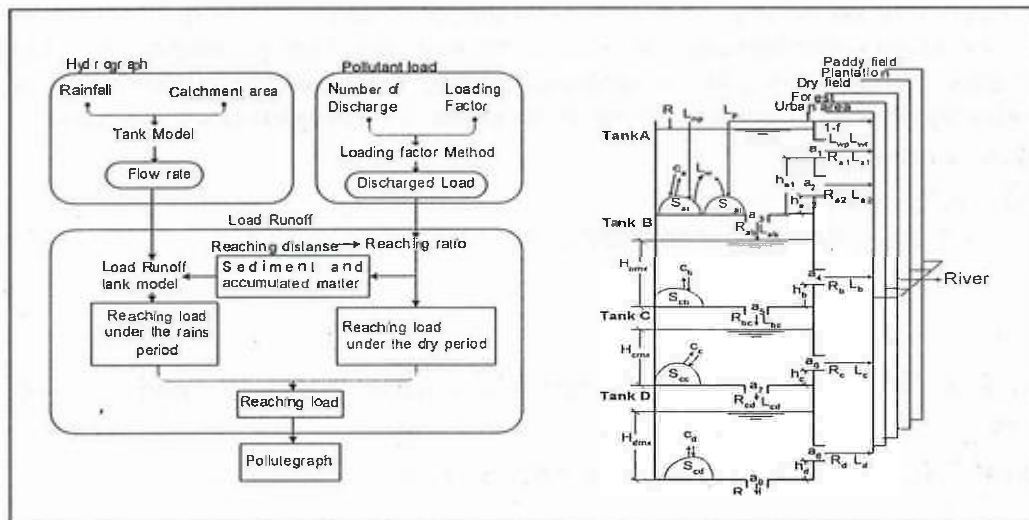
Daerah aliran sungai (*Watershed*) Citarum terletak di danau tua Bandung meliputi kota Bandung dan kabupaten Bandung. Dari DAS tersebut terdapat Sungai Citarum yang mengalir melewati kota dan kabupaten Bandung dan merupakan sumber utama waduk Saguling (digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan perikanan). Sungai Citarum hulu merupakan sumber air potensial yang sangat penting bagi perkembangan kota dan kabupaten Bandung. Selama ini sungai tersebut digunakan sebagai tempat buangan limbah penduduk dan industri disekitar sungai maupun menerima non-point sources, seperti organik karbon dan nitrogen. Akibat dari buangan tersebut mengakibatkan terganggunya flora dan fauna karena menurunnya oksigen terlarut (DO) di badan sungai.

Walaupun telah ditetapkan dengan program kali bersih (PROKASIH) sejak tahun 1989, bahwa sungai Citarum telah ditetapkan peruntukkannya untuk perikanan tetapi kualitasnya tetap menurun. Badrudin, (1990); Bukit, (1995) ; Uchida, (1997). menurunnya kualitas sungai Citarum ditandai dengan terjadinya eutrofikasi sehingga seringnya kematian ikan di waduk Saguling.

Untuk mengatasi kualitas sungai Citarum tersebut, maka penyelesaiannya dibuat model, yang diharapkan dapat menyelesaikan secara menyeluruh antara kepentingan dan pengelolaan di DAS Citarum hulu. Penyelesaian dengan model tersebut dengan memasukkan beberapa parameter satuan (table1).

Tabel 1. Faktor satuan beban dalam model

Sumber	$Q_{eff}$	BOD <sub>5</sub>	COD	T-N	T-P	NH <sub>3</sub>
<b>Domestik</b>	160 l/d/cap	180 mg/l	250 mg/l	50 mg/l	20 mg/l	28 mg/l
<b>Pabrik:</b>						
Textil	200 m <sup>3</sup> /ton prod.	800 mg/l	1000 mg/l	80 mg/l	20 mg/l	-
Produksi kulit	0.42 m <sup>3</sup> /ton	800 mg/l	1000 mg/l	30 mg/l	1.5 mg/l	-
Teh	0.035 m <sup>3</sup> /ton	2.2 mg/l	2.5 mg/l	0.87 mg/l	0.35 mg/l	-
Peralatan elektronik	0.035 m <sup>3</sup> /ton	2.2 mg/l	2.5 mg/l	0.87 mg/l	0.35 mg/l	-
Garment	0.035 m <sup>3</sup> /ton	2.2 mg/l	2.5 mg/l	0.87 mg/l	0.35 mg/l	-
<b>Penggunaan la-</b>	<b>Satuan</b>					
Wilayah terbangun	kg/ha/year	187	200	19.7	2.7	-
Hutan	kg/ha/year	-	21.5	3.6	0.3	-
Perkebunan	kg/ha/year	-	15.5	76.0	1.9	-
Ladang	kg/ha/year	-	10.3	76.0	0.68	-
Sawah	kg/ha/year	-	21.3	49.8	2.02	-



Gambar 1. Keluaran model tangki untuk hydrograph dan polutograph

## 2. BAHAN DAN METODE

Model ini terdiri dari 3 sub model seperti terlihat pada gambar 1, yaitu hidrograph aliran yang dihasilkan oleh model tangki, perkiraan beban (COD, BOD<sub>5</sub>, T-N, T-P, and NH<sub>3</sub>) menggunakan metode factor beban dan polutograf yang dihasilkan oleh model tangki.

Rumus dasar dari model ini dapat digambarkan sebagai berikut:

### - Hidrograf aliran

#### Laju aliran dari tangki a

$H_a = f.R.\Delta t - (1-s).E.\Delta t$ . If  $H_a > h_{a1}$ , dimana  $R_{a1} = a_1.(H_a - h_{a1}).\Delta t$ ,  
dan  $R_{a2} = a_2.(H_a - h_{a2}).\Delta t$ ,  $R_a = R_{a1} + R_{a2}$ .

jika  $h_{a2} < H_a \leq h_{a1}$ , maka  $R_{a1} = 0$ , bila  $R_{a2} = a_2.(H_a - h_{a2}).\Delta t$ ,  
maka  $Y_a = R_{a1} + R_{a2}$

jika  $H_a \leq h_{a2}$ , maka  $R_a = 0$ ,  $R_{ab} = a_3.H_a$  dan  $H_b = H_a - R_a.\Delta t - R_{a0}.\Delta t$ .

#### Laju aliran dari tangki b

jika  $H_b > h_b$ ,  $R_b = a_4.(H_b - h_b).\Delta t$ . dan bila  $H_b \leq h_b$ , maka  $R_b = 0$ .

$R_{bc} = a_5.H_b$  dan  $H_c = H_b - R_b.\Delta t - R_{b0}.\Delta t$ .

#### Laju aliran tangki c

jika  $H_c > h_c$ ,  $R_c = a_6.(H_c - h_c).\Delta t$ . dan bila  $H_c \leq h_c$ , maka  $R_c = 0$

$R_{cd} = a_7.H_c$  dan  $H_d = H_c - R_c.\Delta t - R_{c0}.\Delta t$ .

#### Laju aliran tangki d

jika  $H_d > h_d$ ,  $R_d = a_8.(H_d - h_d).\Delta t$ . dan bila  $H_d \leq h_d$ , maka  $R_d = 0$ .

$R_{de} = a_9.H_d$  and  $H_e = H_d - R_d.\Delta t - R_{d0}.\Delta t$ .

dimana  $H_i$  = level pada tangki i (mm);  $R_i$  = aliran dari tangki i (mm/hari);  $R_{ij}$  = penetrasi dari tangki i ke tangki j (mm/hari);  $a_1 \sim a_9$  = aliran melalui parameter-parameter;  $h_i$  = tingki simpanan dalam tangki i (mm);  $\Delta t$  = selang waktu (hari);  $R$  = curah hujan (mm/hari);  $E$  = evaporasi (mm/hari);  $f$  = porsi curah hujan ke tanah;  $s$  = koefisien tunda evaporasi.

#### - Aliran-pollutegraph

Persamaan gerak:

Aliran keluar dari sumber titik pada saat cuaca cerah,  $L_{po}$  (kg/hari):

$$L_{po} = f \times L_p$$

$$f = \left( \exp(-1 \times k_1 \sqrt{A}) \right) \left( \exp(-1 \times k_2) \right)$$

Beban aliran keluar dari daerah sumber (termasuk beban yang keluar dari sedimen),  $L_{a-d}$  (kg/hari) :

$$\text{Tangkia: } L_a = C_a \cdot R_a \cdot A + K_{wp} \cdot S_{ap} \cdot R_a \cdot A + K_{wr} \cdot S_{ar} \cdot R_a^2 \cdot A$$

Tangki b, c, d:

$$L_b = C_b \cdot R_b \cdot A; \quad L_c = C_c \cdot R_c \cdot A;$$

$$L_d = C_d \cdot R_d \cdot A$$

Penetrasi beban,  $L_{ab-de}$  (kg/hari):

$$\text{Tangkia} \rightarrow \text{b: } L_{ab} = C_a \cdot R_{ab} \cdot A;$$

$$\text{Tangki b} \rightarrow \text{c: } L_{bc} = C_b \cdot R_{bc} \cdot A$$

$$\text{Tangkic} \rightarrow \text{d: } L_{cd} = C_c \cdot R_{cd} \cdot A;$$

$$\text{Tangkid} \rightarrow \text{d: } L_{de} = C_d \cdot R_{de} \cdot A$$

Dimana,  $L_p$  = beban dari sumber titik (kg/hari);  $k_1$  dan  $k_2$  = konstanta;  $A$  = luas DAS ( $\text{km}^2$ );  $f$  = perbandingan aliran keluar pada musim kering;  $C_i$  = kualitas air pada tangki i (mg/l);  $K_{wp}$  = koefisien laju pencucian sedimen dari sumber titik (1/mm);  $K_{wr}$  = koefisien laju pencucian sedimen dari sumber area (1/mm);  $S_{ap}$  = sedimen dari sumber titik ( $\text{kg/m}^2$ );  $S_{ar}$  = sedimen dari sumber area ( $\text{kg/m}^2$ ).

Persamaan kontinuitas:

Sedimen dan proses pencucian dalam tangki a:

$$A \cdot \frac{d(C_a \cdot H_a)}{dt} = C_r \cdot R \cdot A - C_a \cdot R_a \cdot A - K_{a1} \cdot C_a \cdot H_a \cdot A + K_{a2} \cdot S_{ar} \cdot A - L_{ab}$$

$$A \cdot \frac{dS_{ap}}{dt} = (1 - F_1) \cdot L_p \cdot k_{dp} \cdot S_{ap} \cdot A - K_{wp} \cdot S_{ap} \cdot R_a \cdot A$$

$$A \cdot \frac{dS_{ar}}{dt} = L_{np} - k_{dr} \cdot S_{ar} \cdot A + k_{a1} \cdot C_a \cdot H_a \cdot A - k_{a2} \cdot S_{ar} \cdot A - K_{wr} \cdot S_{ar} \cdot R_a^2 \cdot A$$

Proses penetrasi, akumulasi dalam tanah, dalam tangki b~d,

$$A \cdot \frac{d(C_b \cdot H_b)}{dt} = L_{ab} - L_b - L_{bc} - k_b \left\{ C_b \cdot H_b - r \frac{(SC_b + SC_{bo})}{SC_{bo}} SC_b \cdot H_{bmx} \right\} A$$



$$A \frac{d(SC_b \cdot H_{bmx})}{dt} = k_b \cdot \left\{ C_b \cdot H_b - r \frac{(SC_b + SC_{bo})}{SC_{bo}} SC_b \cdot H_{bmx} \right\} \cdot A - k_{db} \cdot SC_b \cdot H_{bmx} \cdot A$$

$$A \cdot \frac{d(C_d \cdot H_d)}{dt} = L_{cd} - L_d - L_{de} - k_d \cdot \left\{ C_d \cdot H_d - r \frac{(SC_d + SC_{do})}{SC_{do}} SC_d \cdot H_{dmx} \right\} \cdot A$$

$$A \frac{d(SC_d \cdot H_{dmx})}{dt} = k_d \cdot \left\{ C_d \cdot H_d - r \frac{(SC_d + SC_{do})}{SC_{do}} SC_d \cdot H_{dmx} \right\} \cdot A - k_{dd} \cdot SC_d \cdot H_{dmx} \cdot A$$

$H_{lmx}$  = tinggi muka air maksimum pada tangki i (mm);  $k_{di}$  = koefisien laju penurunan dalam tangki i (1/hari);  $k_i$  = koefisien penyerapan dalam tangki i (1/hari);  $C_r$  = kualitas air hujan (mg/l);  $SC_i$  = akumulasi dalam tanah pada tangki i (kg/m<sup>2</sup>);  $k_{a1}$  = koefisien laju penyerapan dalam tangki a (1/hari);  $k_{a2}$  = koefisien laju pelepasan dalam tangki a (1/hari);

$r \frac{(SC_i + SD_{io})}{SC_{io}}$  = konstanta persamaan penyerapan dalam tangki i.

Konsentrasi dan beban

$$L_{cai} = L_{po} + L_a + L_b + L_c + L_d$$

$$C_{cai} = \frac{L_{cai}}{Q_{cai}}$$

$$Q_{cai} = \sum \{(R_a + R_b + R_c + R_d) \cdot A\} \text{ tank. } 1 \rightarrow 5$$

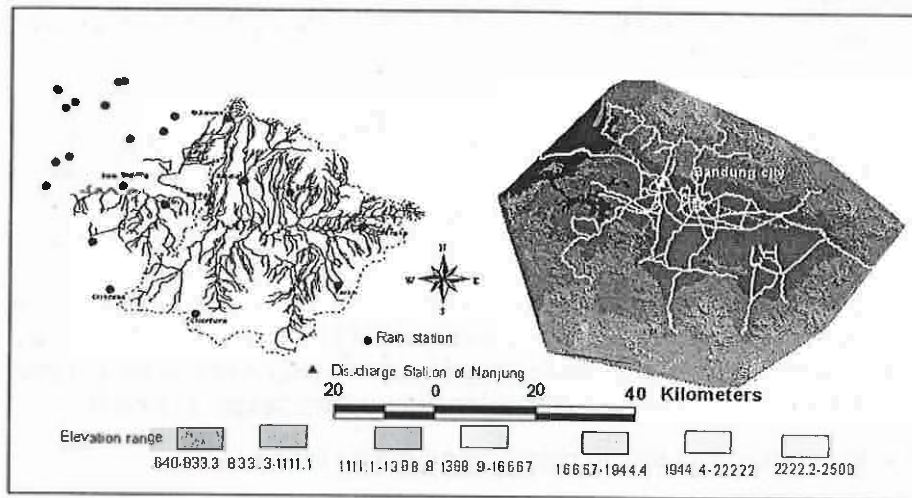
Dimana,  $L_{cai}$  = total pengisian beban pada parameter i (kg/hari);  $C_{cai}$  = konsentrasi pada parameter i (mg/l);  $Q_{cai}$  = total pengisian (m<sup>3</sup>/dt).

Penyelesaian dari persamaan model ini menggunakan metode "Runge-Kutte", dimana untuk menghitung model ini menggunakan model program dalam "FORTRAN".

Curah hujan di DAS sebagai masukan pada model adalah dihitung berdasarkan perhitungan curah hujan harian dari 11 stasion telemetry. Stasion curah hujan tersebut yaitu, Cicalengka, Paseh, Chinhona, Ciparay, Ujungberung, Bandung, Montaya, Sukawarna, dan stasion dam Saguling (lokasi stasion pada gambar.2), data curah hujan tersebut mulai dari tahun 1990 sampai 1998.

Perkiraan beban pencemar dikonversikan dari data jumlah penduduk, tata guna lahan dan industri. Data-data tersebut diperoleh dari statistik Bandung, peta tata guna lahan dan interpretasi citra satelit.

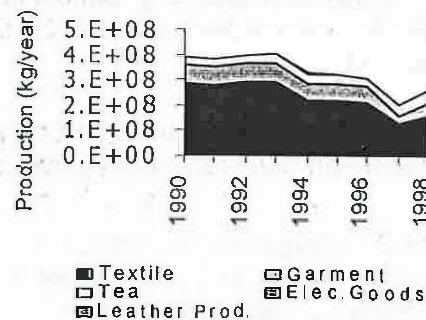
Stasion Nanjung (gambar.2) adalah sebagai keluaran dari DAS Citarum hulu yang dimonitor oleh PU. Data hasil monitoring tersebut dikumpulkan untuk dikalibrasi dengan model, sedangkan untuk mengkalibrasi aliran pollutograph dalam model menggunakan data kualitas air dari 1990 sampai 1995.



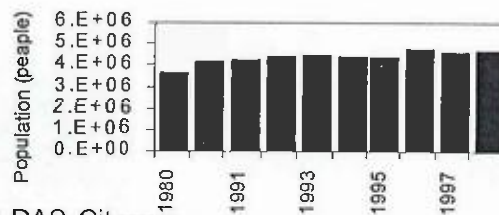
Gambar 2. DAS Citarum hulu

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Bandung dan kabupaten Bandung adalah pusat pabrik tekstil di Indonesia, sekitar 80% produksi tekstil terdapat di daerah ini. Gambar 3, menunjukkan bahwa produksi tekstil sangat tinggi jika dibandingkan terhadap daerah lain. Gambar 3, juga menunjukkan pabrik tekstil dari tahun 1990 ke 1993 masih relatif tinggi, sedangkan mulai tahun 1997 menurun, penurunan ini diduga akibat pada tahun itu terjadinya krisis moneter yang melanda Indonesia.

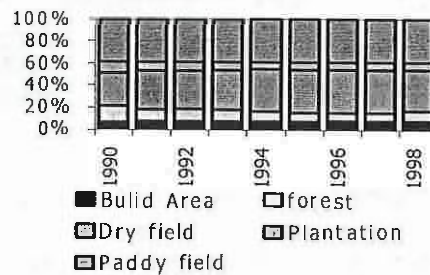


Gambar 3. Pabrik di DAS Citarum hulu.



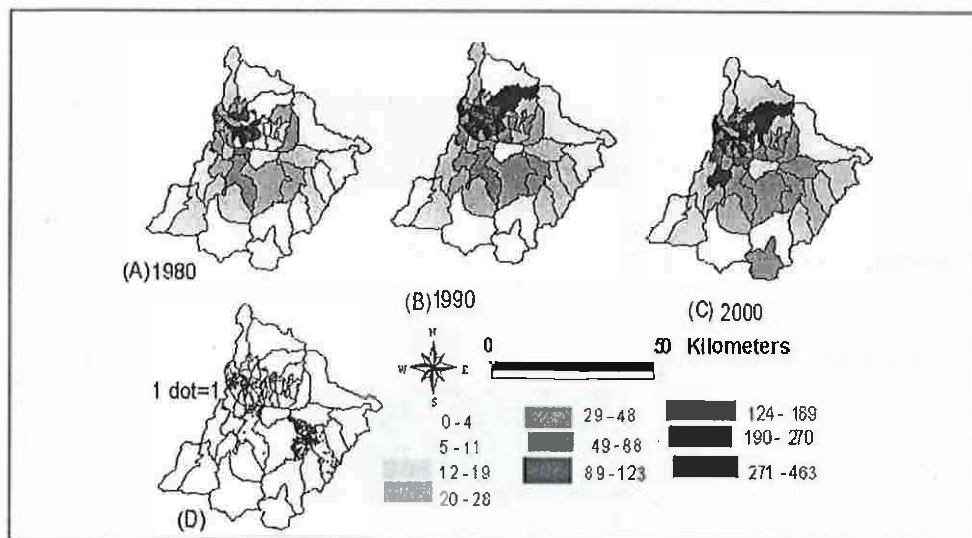
Gambar 4. Penduduk di DAS Citarum.

Luas DAS=177100 ha



Gambar 5. Komposisi penggunaan lahan di DAS Citarum.

Gambar 4, kelihatan selama periode tahun 1980 sampai 2000 pertambahan penduduk di DAS Citarum hulu rata-rata sekitar 1.8% per tahun dan penyebaran penduduk tersebut terlihat pada (gambar.6), dimana pergerakan penduduk mengarah ke utara. Pertambahan penduduk tersebut diikuti pula penggunaan lahan untuk kawasan bangunan (gambar.5). Kemudian akhirnya kawasan hutan di DAS Citarum hulu ikut berkurang yang telah berubah menjadi ladang dan kawasan pemukiman (gambar.5). Dengan mencoba-coba (*trial and error*) pada sub model di hidrograf aliran, perubahan waktu ( $\Delta t$ ) adalah 0.11hari dengan parameter-parameter masukan seperti dalam (tabel 2) dan (tabel 3). Hasil simulasi untuk hidrograf aliran adalah ditunjukkan dalam (gambar. 7), hasil simulasi tersebut masih mendekati dari hasil pengukuran. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan kuadrat, nilai pengukuran numeric, perbedaan antara simulasi model dengan pengukuran adalah sebesar 5,34.



Gambar.6. Distribusi penduduk dan pabrik tekstil di DAS Citarum hulu.

(a) distribusi kerapatan penduduk pada tahun 1980 (b) distribusi kerapatan penduduk pada tahun 1990 (c) distribusi kerapatan penduduk pada tahun 2000 (d) distribusi pabrik tekstil

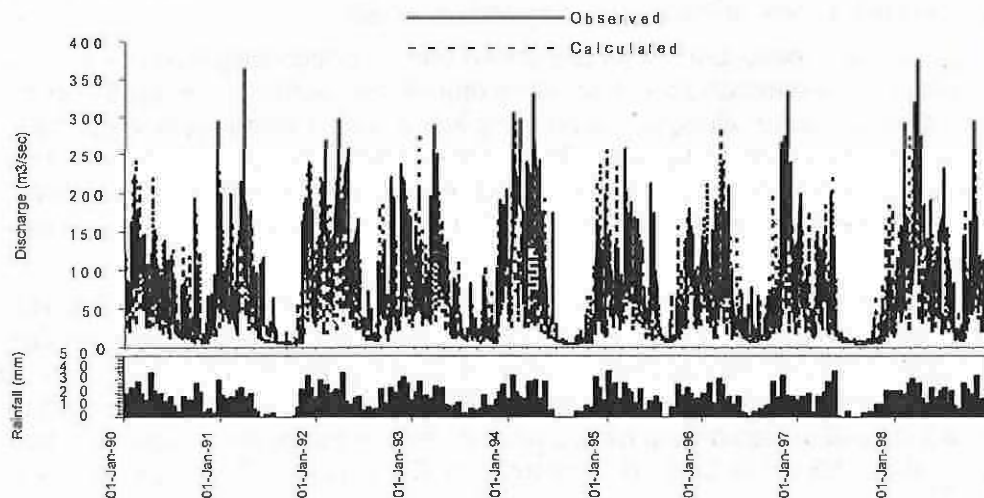
Tabel 2. Parameter aliran keluar setiap penggunaan lahan pada model hidrograf aliran.

Penggunaan lahan	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$a_9$
Kawasan terbangun	0.85	0.90	0.10000	0.80	0.2000	0.75	0.20000	0.800	0.0000001
Hutan	0.70	0.70	0.50000	0.70	0.3500	0.70	0.08600	0.870	0.0000001
Ladang	0.85	0.50	0.39000	0.85	0.2500	0.85	0.05500	0.870	0.0000001
Perkebunan	0.75	0.80	0.45000	0.80	0.3000	0.85	0.06500	0.800	0.0000001
Sawah	0.60	0.21	0.00001	0.15	0.0001	0.01	0.00023	0.001	0.000000

Tabel 3. Parameter tinggi tampungan untuk masing-masing penggunaan lahan dalam model hidrograf aliran.

Penggunaan lahan	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$H_{bm}$ x	$H_{cmx}$	$H_{dmx}$
Kawasan terbangun	2.0	0.5	6.0	10.0	1.0	150	400	3500
Hutan	3.0	2.0	9.0	10.0	1.0	160	550	3000
Ladang	3.0	1.0	5.0	10.0	1.0	170	650	3500
Perkebunan	3.0	1.0	5.0	10.0	1.0	180	700	4000
Sawah	4.0	2.0	2.0	20.0	2.0	100	800	3000





Gambar 7. Curah hujan, hidrograf aliran antara pengukuran dengan perhitungan.

Berdasarkan gambar 7, iklim DAS Citarum hulu menunjukkan iklim tropis dengan dua musim yaitu hujan dan kemarau. Musim hujan dimulai dari November sampai April, hujan tersebut mencakup 70 % dari rata-rata hujan tahunan. Pada kejadian hujan dimusim hujan kurang dari 40 mm, maka akan menghasilkan debit lebih dari 150 m<sup>3</sup>/dt di stasiun Nanjung, sedangkan debit aliran dimusim kemarau, dihasilkan oleh aliran dasar dan aliran pencemar dari sumber titik (point-sources) (hasil perhitungan 5 m<sup>3</sup>/dt), dapat terjadi kurang dari 10 m<sup>3</sup>/dt. Tingginya fluktuasi dari hidrograf aliran dapat dijelaskan oleh gambar 5. Hutan perkebunan sebagai daerah resapan di DAS Citarum hulu mempunyai persentase yang lebih rendah dari penggunaan lahan yang lain. Disamping itu sebagian besar dari DAS Citarum hulu mempunyai kemiringan lereng yang besar (gambar 2), sehingga sebagian hujan akan menjadi aliran langsung.

Gejala ini dapat juga dijelaskan menggunakan model hidrograf aliran. Parameter  $a_1$  dan  $a_2$  masing-masing parameter aliran langsung dan aliran cepat memiliki nilai yang tinggi, sedangkan  $a_3$  sebagai parameter infiltrasi bernilai rendah. Disamping itu  $b_1$  dan  $b_2$  sebagai parameter hambatan aliran permukaan juga bernilai rendah. Kondisi ini akan menyebabkan sebagian hujan menjadi aliran langsung.

$H_{bmx}$ ,  $H_{cmx}$ , dan  $H_{dmx}$  adalah parameter yang menggambarkan kapasitas tampungan air di tangki b, c dan d (dalam tanah).  $a_4$ ,  $a_6$  dan  $a_8$  adalah parameter yang menggambarkan aliran dibawah tanah.  $a_5$ ,  $a_7$ , dan  $a_9$  adalah parameter kapasitas perkolasi. Sedangkan,  $b_3$ ,  $b_4$  dan  $b_5$  adalah parameter hambatan aliran bawah tanah. Berdasarkan tabel 2 dan 3, parameter  $a_4$ ,  $a_6$  dan  $a_8$  mempunyai nilai tinggi dan parameter  $b_3$ ,  $b_4$  dan  $b_5$  mempunyai nilai rendah. Namun, parameter  $a_5$ ,  $a_7$  dan  $a_9$  mempunyai nilai rendah dan nilai dari parameter  $H_{bmx}$ ,  $H_{cmx}$ , dan  $H_{dmx}$  relatif rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa bagian dari hujan yang terinfiltrasi kedalam tanah akan cepat habis sebagai alir dasar, kenyataan ini

dapat dilihat pada gambar 7, yaitu aliran dasar yang tinggi terjadi pada periode hujan dan ketika hujan berhenti aliran dasar berkurang secara drastis.

Pengelolaan DAS pada umumnya diarahkan untuk mengurangi fluktuasi hidrograf aliran dengan cara menambah jumlah air yang terinfiltrasi. Berdasarkan hasil dari model hidrograf aliran, parameter aliran langsung yang keluar dari masing-masing penggunaan lahan mempunyai nilai yang tinggi dan nilai parameter yang mengindikasikan dari masing-masing penggunaan lahan adalah rendah. Untuk memperbesar infiltrasi dapat dilakukan dengan cara memperbesar nilai parameter  $b_1$  dan  $b_2$  sehingga air akan tinggal dalam tanah lebih lama.

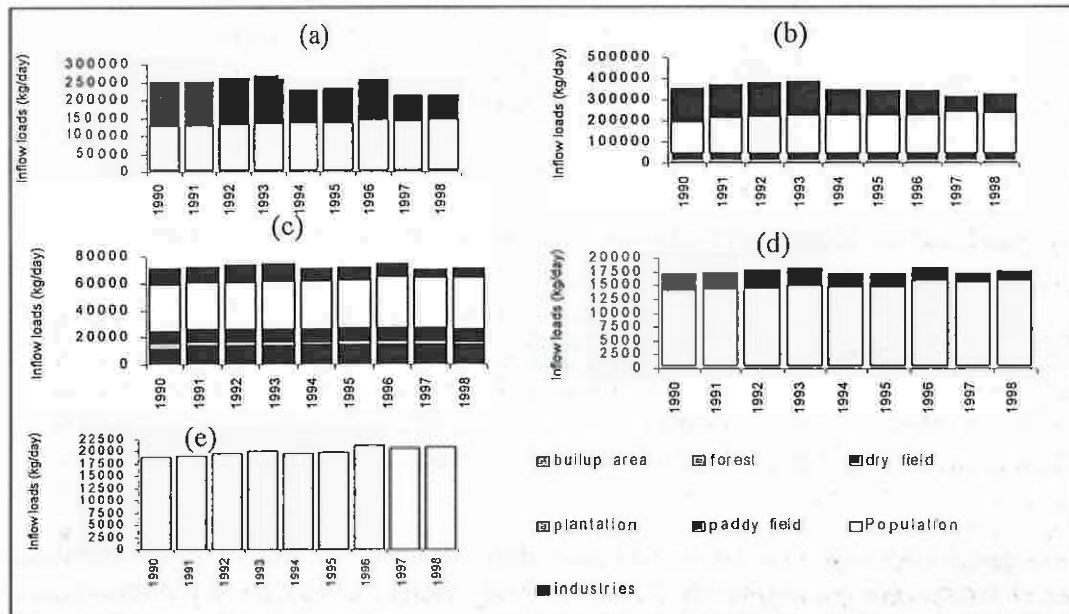
Hasil dari perhitungan masukan beban dapat dilihat pada gambar 8. Hasil kalibrasi untuk model aliran-polutograf dapat dilihat dalam table 4 dan 7, sedangkan hasil dari simulasi aliran-polutograf dapat dilihat pada gambar 9. Simulasi tersebut menunjukkan yang mendekati hasil dari pengukuran dari lapangan. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan kuadrat, perbedaan antara hasil simulasi dengan pengukuran lapangan adalah 4.13 untuk  $BOD_5$ , 3.63 untuk COD, 0.23 untuk T-N, 0.15 untuk T-P, dan 0.024 untuk  $NH_3$ .

Dari gambar 8a dapat dilihat bahwa masukan beban  $BOD_5$  tersebut berasal dari sumber titik dan sumber area. Industri dan permukiman sebagai sumber titik memperlihatkan penurunan kontribusi masukan beban  $BOD_5$  dari 98% hingga 95% selama 9 tahun. Kawasan terbangun sebagai sumber area, memperlihatkan peningkatan kontribusi masukan beban  $BOD_5$  dari 2% menjadi 5% pada periode waktu yang sama. Berdasarkan hal itu maka penelitian tentang masukan beban  $BOD_5$  dari sumber titik sangat signifikan.

Sumber masukan beban COD cenderung menurun dari 85% ke 82% selama 9 tahun, dan bertambah dari 15% ke 18% untuk sumber area. Selama 9 tahun kontribusi COD dari beban masukan dari sumber titik adalah bertambah dari 40% ke 60% untuk penduduk, dan berkurang dari 45% ke 32% untuk industri. Walaupun 9 tahun beban masukan COD dari sumber area adalah konstan pada 12% untuk sawah, konstanta pada 1% untuk perkebunan dan ladang, dan bertambah dari 2% ke 5% untuk kawasan terbangun. Berdasarkan fakta tersebut masukan beban dari sumber titik memberikan kontribusi terbesar terhadap masukan beban COD.

Gambar. 8c adalah beban masukan T-N selama 9 tahun. Kontribusi beban masukan dari pemukiman meningkat dari 45% ke 51%, industri menurun dari 17% ke 11%, sawah tetap 10%, perkebunan tetap 5%, ladang berkurang dari 21% ke 20%, dan kawasan terbangun bertambah 2% ke 5%. Berdasarkan fakta tersebut, beban masukan T-N dari sumber area, terutama sawah dan ladang harus diperhatikan disamping juga dari sumber titik. Sebaliknya sumber beban masukan T-P dari sumber area tidak nyata apabila dibandingkan dengan sumber titik (gambar.8d). Selama 9 tahun beban masukan T-P bertambah 75% untuk pemukiman, berkurang dari 19% ke 11% untuk industri, konstan 3% untuk sawah, dan bertambah 1% ke 3% untuk kawasan terbangun dan ladang.

Seperti beban masukan yang lain,  $NH_3$  dari pemukiman adalah dominan secara nyata (gambar. 8e). Berdasarkan hal tersebut untuk perbaikan kualitas air di sungai Citarum hulu maka, beban masukan dari industri terutama tekstil dan pemukiman harus jadi bahan pertimbangan atau pemikiran.



Gambar 8. Beban masukan dari DAS Citarum hulu.

(a) BOD<sub>5</sub>, (b) COD, (c) T-N, (d) T-P, (e) NH<sub>3</sub>

Tabel 4. Koefisien perbandingan keluaran dan pencucian dari sedimen pada kawasan terbangun.

Koefisien	Pencemar				
	BOD <sub>5</sub>	COD	T-N	T-P	NH <sub>3</sub>
k <sub>1</sub>	0.15	0.16	0.18	0.01	0.10
k <sub>2</sub>	0.40	0.48	0.10	0.01	0.35
K <sub>WP</sub>	0.00002	0.00005	0.00005	0.00005	0.002

Tabel 5. Koefisien pencucian dari sedimen (K<sub>WR</sub>).

Pencemar	Penggunaan lahan				
	Kawasan terbangun	Hutan	Ladang	Perkebunan	Sawah
BOD <sub>5</sub>	0.0009	-	-	-	-
COD	0.0015	0.0013	0.0030	0.0020	0.0011
T-N	0.0001	0.0001	0.0004	0.0004	0.0004
T-P	0.0001	0.0001	0.0004	0.0003	0.0002
NH <sub>3</sub>	0.0008	-	-	-	-



Tabel 6. Koefisien laju adsorpsi-desorpsi.

Koefisien	Pencemar				
	BOD <sub>5</sub>	COD	T-N	T-P	NH <sub>3</sub>
K <sub>a1</sub>	0.3000	0.02	0.2	14.0	0.03
K <sub>a2</sub>	0.0180	0.02	0.0005	11.0	0.018
S <sub>CO</sub>	2000	2000	3	50	10

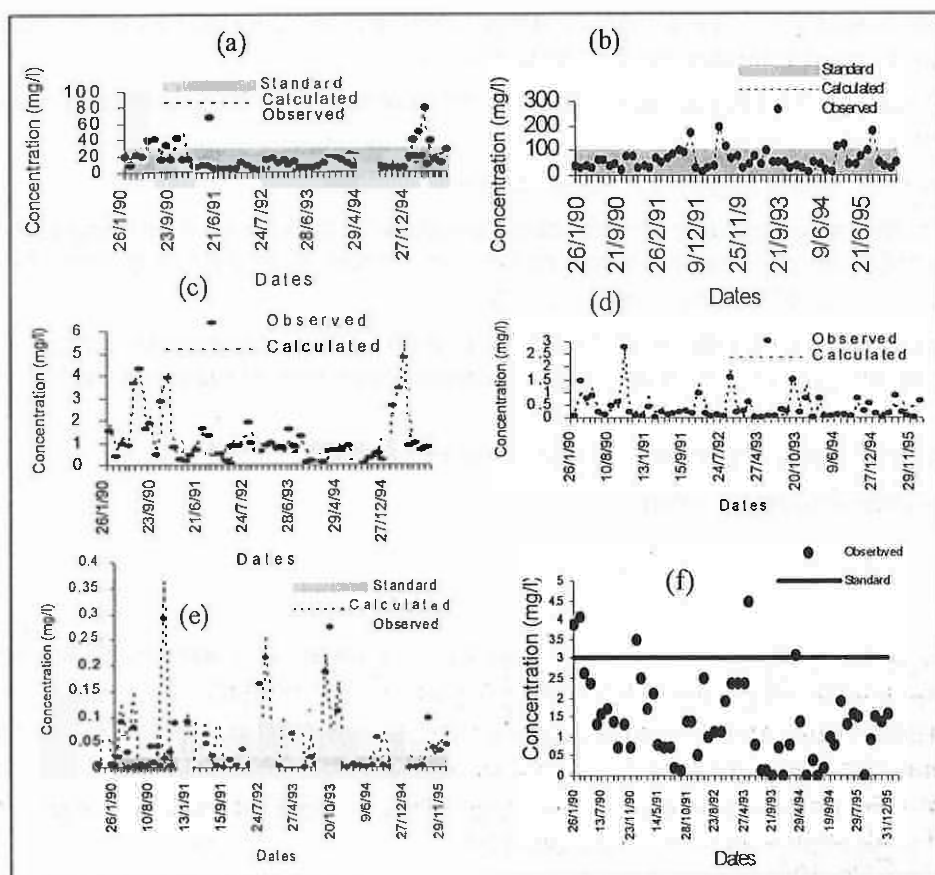
Tabel 7. Koefisien pengurangan pada sedimen dan akumulasi material dalam tanah.

Pencemar	Tangki a		Tangki a,b dan d					
	K <sub>DR</sub>	K <sub>DP</sub>	K <sub>b</sub>	K <sub>c</sub>	K <sub>D</sub>	K <sub>DB</sub>	K <sub>DC</sub>	K <sub>DD</sub>
BOD <sub>5</sub>	0.0001	0.0001	0.0008	0.0005	0.00010	0.0000	0.0001	0.0001
COD	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00010	0.0001	0.0001	0.0001
T-N	0.2	0.0	0.0001	0.0001	0.00001	0.0006	0.0005	0.0001
T-P	0.05	0.0	0.0001	0.0001	0.00001	0.0600	0.0005	0.0005
NH <sub>3</sub>	0.0	0.0	0.0008	0.0005	0.00050	0.0000	0.0001	0.0001

Pengaruh dari tingginya beban masukan dari sumber titik terlihat dari pemantauan kualitas di stasiun Nanjung (gambar 9). Konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD dan NH<sub>3</sub> melebihi standar ambang batas kualitas air. Berdasarkan hubungan antara waktu pengambilan contoh dan data debit aliran harian di stasiun Nanjung, pencemaran BOD<sub>5</sub>, COD dan NH<sub>3</sub> terjadi pada debit sekitar 10 m<sup>3</sup>/sec. Dari 57 kali pengambilan contoh terjadi 9 kali pencemaran BOD<sub>5</sub>, 8 kali COD dan 23 kali NH<sub>3</sub>. Disisi lain kemungkinan terjadinya pencemaran adalah 15.8% untuk BOD<sub>5</sub>, 14% untuk COD dan 40.4% untuk NH<sub>3</sub>.

Konsentrasi BOD<sub>5</sub> dan COD dibadan air sungai Citarum hulu, melebihi ambang batas kualitas air, sehingga menyebabkan konsentrasi DO lebih rendah dari standar kualitas air yang diinginkan. Perubahan DO dapat dilihat pada gambar 9f. Konsentrasi DO kurang dari 2 mg/L akan menghambat pertumbuhan bakteri dan akan terjadi proses oksidasi yaitu NH<sub>3</sub> menjadi NO<sub>2</sub> dan NO<sub>3</sub> (Grady, 1980). Situasi ini akan menyebabkan kemungkinan terjadinya pencemaran NH<sub>3</sub> lebih tinggi dari BOD<sub>5</sub> dan COD. Proses ini telah berhasil di modelkan oleh koefisien perbandingan aliran keluar NH<sub>3</sub> lebih rendah daripada BOD<sub>5</sub> dan COD, dan nilai K<sub>WP</sub> pada NH<sub>3</sub> lebih tinggi dari nilai K<sub>WP</sub> pada BOD<sub>5</sub> dan COD (tabel. 4). Adapun koefisien penurunan pada NH<sub>3</sub> adalah 0, sedang untuk BOD<sub>5</sub> dan COD adalah 0.0001. Bila dilihat koefisien model secara umum (tabel 4~7), tingginya konsentrasi BOD<sub>5</sub>, COD, dan NH<sub>3</sub> tidak disebabkan oleh aliran dasar dan aliran permukaan tetapi disebabkan oleh aliran pada musim kemarau. Kondisi ini juga terjadi pada T-N dan T-P, yaitu beban masukan T-N dari sumber area secara nyata.





Gambar 9. Hasil permodelan.  
BOD<sub>5</sub>, (b) COD, (c) T-N, (d) T-P, (e) NH<sub>3</sub>, (f) DO

#### 4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian adalah sebagai berikut :

- Pertambahan penduduk di DAS Citarum hulu telah menyebabkan alih fungsi dari daerah resapan menjadi kawasan terbangun.
- Fluktuasi dari hidrograf aliran sangat ekstrim, yaitu debit aliran tertinggi lebih dari 250 m<sup>3</sup>/dt dan aliran terendah kurang dari 10 m<sup>3</sup>/sec.
- Hasil simulasi hidrograf aliran dan polutograf aliran menunjukkan kecenderungan mendekati hasil pengukuran.
- Pencemaran BOD<sub>5</sub>, COD dan NH<sub>3</sub> terjadi pada debit rendah di stasion Nanjung, sama atau lebih kecil dari 10 m<sup>3</sup>/dt, dan kemungkinan terjadinya pencemaran BOD<sub>5</sub> adalah 15,8%, COD 14% dan NH<sub>3</sub> 40,4%

- Pencemaran BOD<sub>5</sub>, COD dan NH<sub>3</sub> di sungai Citarum hulu disebabkan oleh beban masukan dari pemukiman dan industri terutama tekstil.
- Kemungkinan terjadinya pencemaran NH<sub>3</sub> akibat rendahnya DO pada badan sungai Citarum yaitu ( $\leq 2$  mg/l)

Berdasarkan kesimpulan seperti ini, maka direkomendasikan

- Karena sulitnya mengontrol pertambahan penduduk dan kawasan terbangun di DAS Citarum hulu, untuk menaikkan aliran dasar dan menurunkan puncak hidrograf maka diperlukan pembuatan "depression storage".
- Model yang telah dikembangkan dapat digunakan sebagai pendekatan perbaikan kualitas air sungai Citarum hulu yang disebabkan oleh beban masukan karbon organik dan nutrien, dengan cara :
  - Skenario alokasi buangan sebagai sumber titik,
  - Skenario effluent standart.

## PUSTAKA

- Badrudin M., 1990, Penggunaan indeks dampak pencemaran air pada penilaian kualitas air. Doctor dissertation, Bandung Institute of Technology.
- Bukit N.T., 1995, Water quality conservation for the Citaum river in West Java, Journal wat. Sci. Tech., 31,9, Pergamon, London, 1-10.
- Brahmana S., 1993, Eutrophication of Saguling reservoir, Journal Penelitian dan Pengembangan-an Pengairan, 28, 41-49.
- Grady Jr., H.C. Lim, 1980, Biology wastewater treatment, theory an application, Marcel Dekker, Inc, New York.
- Uchida T., 1997, Research on a water quality improvement system, the case study of Saguling reservoir, Research and Development centre for Limnology Indonesian Institute of Science in the cooperation with Japan International Cooperation Agency.
- Woo M H, C.K. Bomm, 1992, The water quality impact on fishery in the Saguling reservoir, Proceeding of the Sixth International Symposium on River an Lake Environmental Chuasheon, 62-76.