

KAJIAN AWAL PENGGUNAAN MODEL SEDIMOT II UNTUK SIMULASI PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP WATER YIELD DI DAS CILIWUNG

M. Fakhruddin dan Apip
Staf Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI

PENDAHULUAN

Sungai-sungai yang masuk ke Jakarta pada umumnya mempunyai debit air yang cukup untuk memasok air, baik untuk air bersih maupun penggelontoran kota. Tetapi sungai-sungai tersebut kondisi bagian hulunya sudah kritis, sehingga selain fluktuasi debit antara musim penghujan dengan musim kemarau menunjukkan angka yang tinggi, juga semakin tinggi beban pencemar. Kondisi ini diperparah lagi karena aliran sungai-sungai tersebut melewati pemukiman yang padat penduduk di dalam kota Jakarta. Warga yang tinggal di kiri kanan sungai sebagian masih menganggap sungai sebagai tempat pembuangan sampah. Atau dengan kata lain sungai merupakan bagian dari “belakang” rumah, kita harus mulai merubah persepsi dari bagian “belakang “ rumah menjadi bagian “depan “ rumah, atau istilah populernya adalah *water front city* . Sehingga sungai merupakan *view* yang banyak dibutuhkan penduduk untuk menikmati keindahannya.

Sungai yang mempunyai peran penting baik dalam penggelontoran kota maupun sumber air baku untuk air bersih bagi kota metropolitan Jakarta adalah Sungai Ciliwung, tetapi sungai ini pula yang mengancam banjir ketika memasuki musim hujan, sering kita kenal dengan banjir kiriman (Bogor). Bila dilihat daerah hulu DAS Ciliwung terbentang mulai lereng bagian utara Gunung Pangrango, Gede dan Puncak, kemudian lereng selatan Gunung Megamendung, lalu menyempit di daerah Gadog Ciawi. Kawasan ini memegang peran penting dalam keseimbangan hidrologi Sungai Ciliwung.

Berdasarkan hasil studi (Siswoko, 1997) menunjukkan telah terjadi perubahan perilaku banjir Sungai Ciliwung yang cukup serius selama kurun waktu 25 tahun terakhir. Debit banjir 100 tahunan Sungai Ciliwung di Pintu Air Manggarai pada tahun 1973 sebesar 370 m³/dt, pada saat ini meningkat menjadi 570 m³/dt berarti terjadi kenaikan sebesar 54 persen. Perubahan perilaku banjir ini berkaitan erat dengan perubahan fisik yang terjadi di daerah hulu. Kawasan pemukiman maupun pertanian yang bertambah dan tutupan hutan yang berkurang menjadi penyebab kenaikan debit banjir tersebut. Tutupan permukaan tanah dengan bahan yang kedap air meningkatkan jumlah aliran air permukaan . Karena

jumlah aliran air permukaan meningkat maka sebaliknya imbuan dan cadangan air tanah semakin kecil. Sehingga terjadi fluktuasi debit yang besar antara musim hujan dengan musim kemarau.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bappeda Jawa-Barat pada tahun 1986 ada 173 situ, yang tersebar di Kab. Bogor 122 buah, Kab. Tangerang 42 buah, dan Bekasi 9 buah. Jumlah situ tersebut belum termasuk yang ada di DKI Jakarta. Beberapa situ saat ini mulai ada yang "mati" atau kering. Menurut Direktur Pendayagunaan dan Penggunaan Sumber Daya Air, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, saat ini dari 193 situ yang ada maka sekitar 45-50 persennya dalam keadaan yang kritis. Sebagian besar situ-situ itu sudah berubah fungsi jadi areal permukiman maupun areal persawahan. Sedangkan upaya untuk merehabilitasi dan memanfaatkan situ-situ itu masih kalah prioritasnya dalam pendanaan dari sektor-sektor lain (Kompas, 5 Agustus 1997). Padahal, keberadaan situ-situ dapat berfungsi sebagai *reservoir* yang pada musim kemarau dapat sebagai cadangan air bersih dan pada saat musim penghujan berfungsi sebagai *retention pond* yang berguna untuk mengurangi banjir. Dan tak kalah pentingnya juga berfungsi sebagai *recharge* air tanah.

Untuk memprediksi besarnya debit aliran dan hasil sedimentasi, pada saat ini telah banyak dihasilkan berbagai teknik pemodelan dengan pendekatan empirik, seperti AGNPS (Agriculture Non Point Sources pollution Model), ANSWER (Areal Non Point Sources Watershed Environment Responst Simulation), SEDIMOT II (SEdimentology by DIstributed MOdel Treatment), dan WMS (Watershed Modelling System). Teknik pemodelan yang akan digunakan untuk kajian ini adalah model hidrologi SEDIMOT II yang merupakan hasil pengembangan dari SEDIMOT I.

Penelitian ini direncanakan selama dua tahun, pada tahun pertama ini dilakukan identifikasi model dan karakteristik DAS Ciliwung, dan pada tahun kedua sudah dapat dilakukan simulasi-simulasi perubahan penggunaan lahan termasuk rehabilitasi situ-situ untuk mengetahui dampak terhadap karakteristik water yield DAS Ciliwung dengan menggunakan model SEDIMOT II.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji respon hidrologi khususnya limpasan dalam kaitannya dengan perubahan penutup lahan (*land cover*) termasuk perubahan situ dalam beberapa seri tahun, dengan menggunakan model simulasi yang dikembangkan oleh

Departement of Agricultural Engineering, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, yaitu SEDIMOT II (SEdimentology by DIstributed MOdel Treatment).

Luaran penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk menyusun simulasi perubahan *land cover* terhadap karakteristik *water yeild* (hidrograf) di Sungai Ciliwung dengan komputer. Dengan menggunakan simulasi ini dapat ditentukan karakteristik *water yeild* yang diinginkan dengan melakukan perubahan *land cover* baik jenis maupun lokasinya, tanpa melakukan *action* di lapangan. Hal ini dapat dijadikan dasar bagi pengambil keputusan dalam pengelolaan Daerah Aliran Sungai Ciliwung.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi

Daerah Aliran Sungai Ciliwung *outlet* stasiun), stasiun Ratujuaya - Depok (luas Sub-DAS 240 km²), terletak antara 6^o 02' - 6^o 55' Bujur Timur dan 106^o 35' - 107^o 37' Lintang Selatan. Sedangkan menurut administrasi pemerintahan terletak di Kabupaten Bogor, yang meliputi Kecamatan Cisarua, Kecamatan Ciawi, dan Kecamatan Kedung Halang; Kota Madya Bogor; dan Kota Administrasi Depok.

Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan antara lain :

- Peta Topografi
- Peta Penggunaan tanah
- Peta Tanah
- Peta Situ-situ
- Data Hidrometeorologi
- *Planimeter* dan *Curvimeter*
- *Current meter*
- Seperangkat komputer dan *software* *SEDIMOT II*

Pengumpulan Data dan Informasi

Data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, data primer didapatkan dengan melakukan pengamatan atau pengukuran langsung di lapangan, sedangkan data sekunder didapatkan dari data yang telah dikumpulkan pada penelitian-penelitian sebelumnya atau yang telah dikumpulkan oleh instansi terkait.

Adapun data primer dan sekunder antara lain :

- Data debit sungai, yang diukur dengan menggunakan *Velocity Area Method*, dalam hal ini kecepatan aliran air sungai diukur dengan *Current meter*.
- Morfometri DAS, yang dimaksud morfometri ini adalah luas tiap sub-DAS yang didapatkan dengan mendelinasi masing-masing sub-DAS pada peta topografi dan dilakukan pengukuran luas dengan *Curvimeter*; panjang sungai dengan mengukur pada peta topografi dengan menggunakan *Planimeter*; serta panjang dan kemiringan lereng pada masing-masing unit lahan.
- Pasangan data curah hujan dengan debit aliran air sungai, data curah hujan diambil dari berbagai stasiun baik yang ada di dalam maupun di luar wilayah Daerah Aliran Sungai Ciliwung, untuk merata-rata curah hujan digunakan metode *Polygon Thiessen*.
- Tataguna lahan, data tataguna lahan yang diperlukan terdiri dari beberapa seri tahun, yang didapatkan dari peta tataguna lahan dan hasil interpretasi foto udara dengan melakukan *ground check* di lapangan.
- Hidrograf Aliran Sungai, didapatkan dari pencatatan tinggi muka air sungai pada periode waktu panjang yang dikonversi menjadi debit aliran air sungai dengan menggunakan persamaan *rating curve*.
- Distribusi dan Morfometri Situ, distribusi situ menurut sub-DAS dapat ditentukan dengan menampakan (*overlap*) antara peta sub-DAS dengan peta penyebaran situ, sedangkan morfometri situ didapatkan dari data primer dan sekunder.
- Data karakteristik tanah dilakukan dengan pengambilan sampel dan dilakukan analisis di laboratorium

Pengujian Keberlakuan Model

Pengujian keberlakuan model Sedimot II dilakukan dengan membandingkan parameter hidrograf keluaran model dengan hasil pengukuran. Pengujian menggunakan metode perbandingan nilai tengah contoh pengamatan berpasangan. Prinsip perbandingan nilai tengah berpasangan dilakukan dengan membandingkan besaran komponen hidrograf model dengan pengukuran pada waktu yang sama. Dua kelompok pengamatan dianggap tidak berbeda nyata jika memenuhi kriteria:

$$t_{hitung} = \frac{B_{rata}}{\frac{SD_B}{n^{0.5}}}$$

dimana t_{hitung} adalah nilai uji t hasil dari perhitungan dua kelompok yang dibandingkan, B_{rata} adalah rata-rata dari beda, B adalah beda nilai setiap pasang data, SD_B adalah standar

deviasi beda, dan $SD_B/n^{0.5}$ adalah standar error. Nilai t hasil hitungan kemudian dibandingkan dengan t tabel pada selang kepercayaan 1 dan 5%.

Hidrograf dari hasil SEDIMOT II dinyatakan tidak berbeda dengan hidrograf pengukuran jika nilai t hitung terdapat dalam selang nilai t tabel pada taraf nyata 5%.

Simulasi Pola dan Alokasi Penggunaan Lahan

Pola dan alokasi penggunaan lahan di DAS termasuk keberadaan situ akan disimulasikan dengan menggunakan bantuan Model SEDIMOT II, guna mengetahui hidrograf aliran yang dihasilkan, dengan memasukkan curah hujan sebagai *input*.

HASIL PADA TAHAP AWAL

Kajian Model Sedimot II

Model SEDIMOT II terdiri dari 4 komponen utama :

1. Komponen Curah Hujan
2. Komponen Runoff
3. Komponen Sedimen
4. Komponen Kontrol Runoff atau Sedimen

Keluaran Model terdiri dari :

1. Kondisi Hidrologi (hidrograf)
2. Laju Sedimentasi

Dalam hal ini kajian yang dilakukan hanya menggunakan output hidrograf, sehingga inputnya hanya yang berhubungan dengan hidrograf tersebut.

Input

Beberapa input yang diperlukan :

Kejadian Hujan

Input yang berhubungan dengan kejadian hujan, diantaranya;

1. Tipe kejadian hujan

Tipe kejadian hujan meliputi tipe SCS I dan SCS II. Pembagian tipe ini berdasarkan sifat sebaran tinggi curah hujan (CH). Tipe SCS ini akan merubah nilai tebal hujan (inchi) menjadi intensitas hujan sesuai dengan besarnya input lama kejadian hujan (jam). Untuk memilih jenis tipe distribusi CH, maka perlu diketahui terlebih dahulu pola CH daerah kajian. Apabila pola distribusi hujan tidak sesuai dengan tipe SCS I atau SCS II, tipe kejadian hujan dapat diduga dengan memasukan input pola distribusi CH, yaitu ;

Lama kejadian hujan (jam), tinggi CH (inchi), akumulasi CH sesuai dengan akumulasi waktu, dan intensitas CH maksimum 30 menit.

2. Tebal curah hujan

Dalam model ini masukan CH merupakan CH tunggal dan CH yang digunakan merupakan curah hujan wilayah. CH yang terjadi pada seluruh sub DAS dianggap homogen dan merata.

3. Lamanya kejadian hujan (1-24 jam misalnya dalam 10 tahun)

4. Laju penambahan waktu (0.1-1 jam) ; digunakan sebagai interval waktu dalam menyusun nilai hidrograf.

Daerah Aliran Sungai (DAS)

Data yang diperlukan :

1. Jumlah titik pertemuan anak-anak sungai dengan sungai utama (*junction*)
2. Jumlah anak sungai utama yang bertemu dengan sungai utama pada masing-masing *junction* (*branches*)
3. Jumlah struktur sungai pada masing-masing *junction* dan *braches*. Struktur sungai ditentukan oleh keadaan fisik sungai. Pemberian nomor *junction*, *branches*, dan struktur dimulai dari bagian hulu sungai.
4. Parameter untuk routing aliran sungai pada masing-masing *junction*, *branches*, dan struktur yang meliputi;
 - a. Parameter Muskingum *Travel time* (K)
 - b. Parameter Muskingum (X)

$$K = \frac{\text{Diagonal distance}}{\bar{V}_w} ; \bar{V}_w = \text{kecepatan rata-rata aliran sungai, nilainya}$$

diduga dari beberapa persamaan sesuai dengan kondisi kemiringan lereng dan penutupan permukaan.

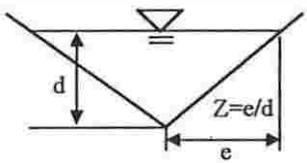
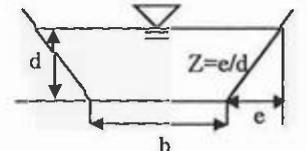
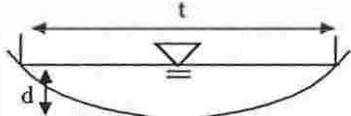
Untuk aliran *uni form* sebuah sungai, V dapat diduga dengan menggunakan persamaan Manning's:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

n ; koefisien kekasaran Manning's

S ; kemiringan sungai (ft/ft)

R ; jari-jari *hydraulic* sungai

	<i>Cross-sectional area, a</i>	<i>Watted perimeter, p</i>	<i>Hydraulic radius R= a/p</i>
	Zd^2	$2d\sqrt{Z^2+1}$	$\frac{Zd}{2\sqrt{Z^2+1}}$
	$bd + Zd^2$	$b + 2d\sqrt{Z^2+1}$	$\frac{bd + zd^2}{b + 2d\sqrt{Z^2+1}}$
	$\frac{2}{3} td$	$t + \frac{8d^2}{3t}$	$\frac{t^2 d}{1.5t^2 + 4d^2}$

$$\text{Diagonal distance} = \sqrt{(\text{Vertical distance})^2 + (\text{Horizontal distance})^2}$$

$$X = \frac{0.5 \bar{V}_W}{(1.7 + \bar{V}_W)}$$

Perkiraan bentuk hidrograf bagian hilir berdasarkan corak hidrograf bagian hulu pada suatu sungai diantaranya menggunakan cara Muskingum.

$$I - O = \frac{S}{t}$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{O_1 + O_2}{2} t = S_2 - S_1$$

$$O_2 = C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 O_1$$

$$C_1 = \frac{KX + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)}{K(1-X) + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)}; \quad C_2 = \frac{-KX + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)}{K(1-X) + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)};$$

$$C_3 = \frac{K(1-X) - \left(\frac{\Delta t}{2}\right)}{K(1-X) + \left(\frac{\Delta t}{2}\right)} = 1 - C_1 - C_2$$

$$K = \frac{\Delta t \{0.50(I_1 + I_2) - 0.50(O_1 + O_2)\}}{x(I_2 - I_1) + (1-x)(O_2 - O_1)}$$

K ; travel time

Δt ; interval waktu pengukuran

5. Jumlah Sub DAS pada masing-masing *junction*, *branches*, dan struktur.
6. Luas Sub DAS (acres) pada masing-masing *junction*, *branches*, dan struktur. Luas Sub DAS dihitung secara partial sesuai dengan areal Sub DAS pada masing-masing *junction*, *branches*, dan struktur.
7. Nilai *Curve Number* (CN) pada masing-masing Sub DAS. Nilai CN ditentukan oleh jenis penggunaan lahan, jenis tanah, dan kondisi hidrologi. CN akan menentukan besarnya jumlah hujan berlebih Q (*rainfall excess*) dalam interval waktu 0.05 jam (3 menit)
8. Parameter routing untuk setiap Sub DAS :

Waktu konsentrasi (T_c) pada setiap Sub DAS. T_c adalah waktu yang diperlukan oleh air yang mengalir dari titik terjauh ke outlet Sub DAS. Untuk menghitung T_c , setiap Sub DAS dapat dibagi ke dalam beberapa segmen berdasarkan keadaan topografi dan kemudian ditentukan besarnya T_c masing-masing segmen. T_c untuk Sub DAS merupakan jumlah T_c pada masing-masing segmen.

- a. Travel time (K) dan X masing-masing Sub DAS.

Beberapa pendekatan empirik yang digunakan untuk menduga besarnya *runoff* (*overland flow*)

Metode SCS:

$$Q = \frac{(CH - Ia)^2}{CH - Ia + S} \quad ; Ia = 0.2S$$

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{for } P > 0.2S$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad Q ; \text{kedalaman runoff (inchi)}$$

Laju aliran puncak (cfs) Metode SCS ;

$$q = q_u A Q F$$

q_u ; unit laju aliran puncak (csm/in)

A ; luas areal (mil^2)

Q ; kedalaman runoff (inchi)

F ; faktor dari komponen sedimen (*pond*, *swamp*)

q_u merupakan fungsi dari waktu konsentrasi T_c (x) dan perbandingan Ia/CH (y); dapat dilihat dari grafik aliran puncak metode SCS.

Aliran puncak dalam suatu unit hidrograph ;

$$q_p = \frac{484 A}{t_p}$$

Waktu aliran puncak (t_p)

$$t_p = 0.6 t_c + D/2 \quad ; D \text{ lama CH berlebih}$$

Bangunan Pengontrol Run-off

Dalam SEDIMOT II terdapat beberapa bentuk bangunan yang dapat berperan sebagai pengendali atau kontrol run-off. Bangunan pengontrol run-off yang akan digunakan dalam prediksi run-off di DAS Ciliwung Hulu dikelompokkan dalam pond (situ).

Salah satu metode yang digunakan untuk evaluasi kemampuan situ dalam meredam laju run-off adalah:

DEPOSITS MODEL

Digunakan untuk estimasi;

1. *Inflow hydrographs*
2. *Hydraulic characteristics of the basin*
3. *Basin geometry*

Algoritma DEPOSITS dapat dibagi kedalam 3 bagian ;

1. *Basin geometry characteristics*
2. *Hydrograph routing procedure*

Karakteristik Fisik Das Ciliwung

Topografi

Daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu secara administrasi pemerintahan terletak di Kabupaten Bogor, yang meliputi Kecamatan Cisarua, Kecamatan Ciawi, dan Kecamatan Kedung Halang. Bila ditinjau secara topografis terletak pada dataran bergelombang hingga pegunungan, pada daerah Katulampa ketinggian sekitar 300 meter di atas permukaan air laut. Sedangkan daerah berbukit atau bergelombang, yaitu mulai dari Kedungbodak ke arah selatan sampai daerah Tugu selatan (1057 m), semakin ke arah selatan dan timur termasuk daerah pegunungan yang merupakan batas DAS seperti, Gunung Halimun (1665 m), Gunung Kencana (1796 m), Gunung Mega Mendung (1672 m) dan Gunung Pangrango (3019 m). Kemiringan lereng di Daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu dibagi dalam empat klas seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kemiringan lereng di DAS Ciliwung bagian hulu

Klas Lereng	Luas (km ²)
I (0 – 5 %)	41,28
II (5 -10 %)	58,23
III (10 – 30 %)	25,88
IV (>30 %)	24,69

Jenis Tanah

Berdasarkan pada analisis Peta Tanah Tinjau skala 1 : 250.000 tahun 1966 yang diterbitkan oleh LPT Bogor terdapat 4 jenis tanah di Daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu, yaitu : Asosiasi andosol coklat dan regosol coklat, latosol coklat, latosol coklat kemerahan, dan asosiasi latosol coklat kemerahan dan latosol coklat.

Jenis tanah regosol ini belum mengalami deferensiasi horison, tekstur pasir, struktur berbutir tunggal, konsistensi lepas-lepas, pH umumnya netral, kesuburan sedang, berasal dari batuan induk material vulkanis piroklastis. Sedangkan jenis tanah andosol telah mempunyai perkembangan profil, warna coklat kekelabuan hingga hitam, kandungan organik tinggi, tekstur geluh berdebu, struktur remah, konsistensi gembur dan bersifat licin berminyak, kelembaban tinggi, permeabilitas sedang dan peka terhadap erosi, berasal dari bahan induk abu atau tuf volkanis.

Tanah Latosol telah berkembang atau terjadi deferensiasi horison, tekstur lempung, struktur remah hingga gumpal, konsistensi gembur hingga agak teguh, warna coklat merah hingga kuning. Tanah-tanah latosol dan andosol merupakan jenis tanah yang sifatnya mudah tercuci oleh air hujan, sehingga sungai yang melaluinya banyak mengandung lumpur terutama pada musim penghujan.

Penggunaanlahan

Penggunaan lahan di Daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu tahun 1981 untuk hutan mencapai 33 %, tegalan 23 %, perkebunan 21 %, pemukiman 8%, dan sisanya untuk sawah. Sedangkan pada tahun 1994 terjadi penggeseran jenis penggunaan lahan terutama terjadi pada luas areal pemukiman, yaitu meningkat dari 12,77 km² menjadi 20,56 km², penambahan areal ini terutama berasal dari tegalan dan ditambah dari areal sawah dan perkebunan (Tabel 2).

Tabel 2. Luas Penggunaan Lahan di daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu

Penggunaan lahan	1981 (km ²)	1994 (km ²)
Hutan	52,35	52,07
Perkebunan	33,60	30,90
Sawah	24,30	20,41
Tegalan	37,10	26,18
Pemukiman	12,77	20,56

Hidrologi

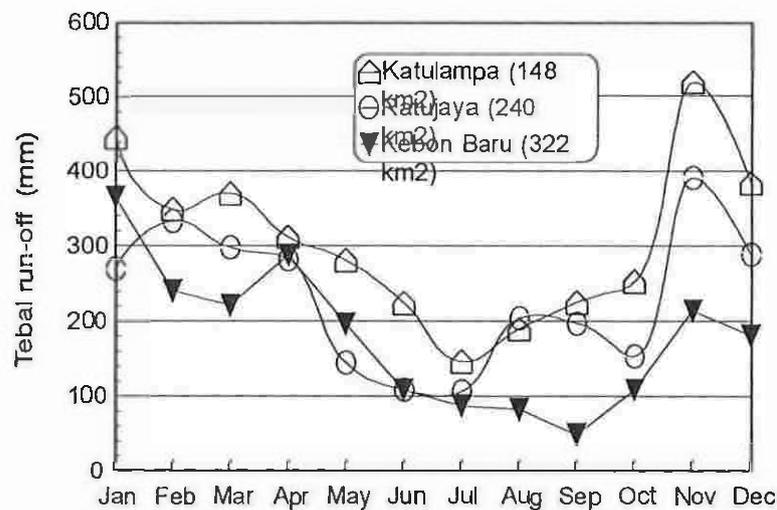
Bentuk Daerah Aliran Sungai Ciliwung mulai hulu sampai daerah Katulampa mempunyai bentuk dentritik, bentuk ini mencirikan bahwa antara kenaikan aliran dengan penurunan aliran ketika terjadi banjir mempunyai durasi yang seimbang. Sedangkan ke arah hilir berbentuk paraler (memanjang) dan makin sempit (Gambar 1). Dengan bentuk seperti ini peranan daerah hulu semakin penting, kontribusi aliran permukaan dari daerah ini cukup besar. Jika kondisi fisik khususnya perubahan penggunaan lahan berubah maka akan mengakibatkan perubahan yang signifikan terhadap karakteristik aliran sungai.

Kondisi ini diperkuat lagi oleh curah hujan yang tinggi di hulu Daerah Aliran Sungai Ciliwung yaitu pada zone paling atas curah hujan tahunan berkisar antara 4000 - 4500 mm, zone bawahnya sampai daerah sekitar Gadok curah hujan tahunan berkisar antara 3500 - 4000 mm, zone berikutnya yaitu antara Gadok sampai Bogor curah hujan tahunan berkisar antara 3000 - 3500 mm, dan zone antara Bogor sampai Depok curah hujan tahunan berkisar antara 2500 - 3000 mm.

Bulan-bulan kering mulai April sampai Oktober dan bulan-bulan basah dari November sampai Maret. Dari sini nampak bahwa variasi musiman pada bagian hilir cukup besar, dan dengan batasan bulan kering sebagai bulan dengan curah hujan kurang dari 100 mm, maka di wilayah hilir ini rata-rata memiliki tiga sampai delapan bulan kering setiap tahunnya. Bulan basah dengan curah hujan lebih dari 200 mm, bagian hilir rata-rata memiliki dua sampai empat bulan basah.

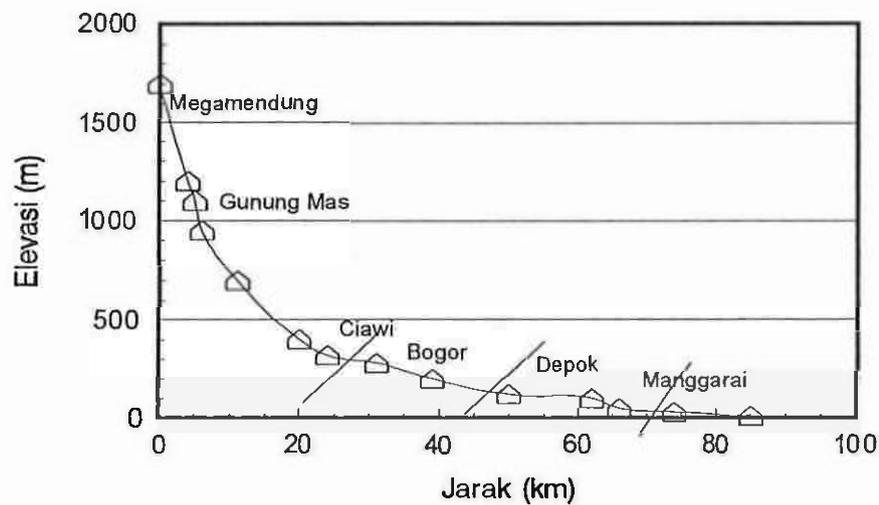
Untuk bagian tengah dan hulu tidak dialami bulan kering. Di bagian tengah rata-rata terjadi enam sampai 12 bulan basah dengan variasi musiman yang rendah, sedang di bagian hulu variasi musiman cukup nyata dengan bulan basah rata-rata antara delapan sampai 11 bulan.

Berdasarkan rata-rata tebal run-off bulanan di tiga stasiun yaitu Stasiun Katulampa - Bogor (luas Sub-DAS 148 km²), Stasiun Ratujaya- Depok (luas Sub-DAS 240 km²), dan Stasiun Kebon Baru - Manggarai (luas Sub-DAS 322 km²), selama 10 tahun (1977- 1987) terjadi fluktuasi bulanan yang cukup besar. Di Stasiun Katulampa tebal run-off selama 11 bulan selalu lebih besar dari tebal run-off di Stasiun Ratujaya dan bila dibandingkan dengan Stasiun Kebon Baru perbedaannya semakin besar. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



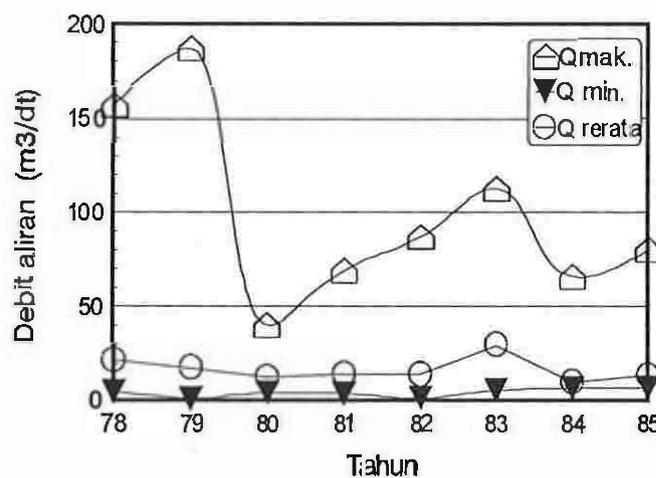
Gambar 2. Tebal run-off bulanan rata-rata

Hal ini menunjukkan bahwa daerah hulu sungai Ciliwung mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap banjir yang terjadi di daerah Jakarta. Banjir ini diperparah lagi oleh kemiringan sungai Ciliwung yang mulai dari hulu di daerah Megamendung sampai daerah Ciawi kemiringannya sangat curam, sedangkan bagian sungai mulai dari Ciawi sampai Depok kemiringannya lebih landai, dan mulai daerah Manggarai kemiringannya semakin kecil (Gambar 3). Kondisi kemiringan sungai ini menyebabkan aliran air yang dari hulu sungai dengan kecepatan tinggi, tetapi pada daerah yang landai kecepatan aliran air berkurang dratis, sehingga aliran air meluap ke luar sungai.



Gambar 3. Hubungan elevasi dengan jarak dari hulu S.Ciliwung

Berdasarkan pencatatan debit air Sungai Ciliwung antara tahun 1978 - 1985 di Stasiun Katulampa menunjukkan bahwa perbedaan antara debit maksimum dan debit minimum cukup tinggi (Gambar 4). Hal ini memberikan indikasi (walaupun masih kasar) bahwa kondisi Daerah Aliran Sungai Ciliwung bagian hulu sudah terjadi gangguan keseimbangan hidrologi, pada waktu hujan air hujan hanya sebagian kecil yang dapat diresapkan ke dalam tanah dan sebagian besar menjadi aliran permukaan yang memperbesar debit air sungai. Tetapi sebaliknya air hujan yang menjadi antara (*interflow*) maupun aliran dasar (*base flow*) di sungai menjadi kecil.



Gambar 4. Debit Aliran Air di S.Ciliwung (St. Katulampa)

Situ

Pada Daerah Aliran Sungai Ciliwung outlet Stasiun Ratujuaya – Depok terdapat situ sebanyak 13 buah yang menyebar di Kecamatan Cibinong, Kecamatan Sukmajaya, dan Kecamatan Kedung Halang, dengan luas total 78,10 ha dan kapasitas tampung air lebih dari 1.790.000. m³. Rincian luas dan kapasitas tampung masing-masing situ dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Luas dan Kapasitas Situ-situ Yang termasuk Dalam Daerah Kajian

No.	Nama Situ	Luas (ha)	Kapasitas (m ³)
1.	Cibinong	6,79	180.000
2.	Kebantenan	4,50	120.000
3.	Cikaret	29,50	750.000
4.	Citata	9,25	30.000
5.	Kibing	2,00	60.000
6.	Sela	1,50	30.000
7.	Cibuntu	2,11	50.000
8.	Cilodong	9,50	270.000
9.	Sidomukti	7,50	210.000
10.	Pangarengan	2,00	60.000
11.	Bahar	0,95	30.000
12.	Ciming	1,50	-
13.	Salam	1,00	-
Total		78,10	1.790.000

Sumber : Dep.PU, Dirjen Pengairan, Direktorat Bina Pelaksanaan Wil. Tengah

Data Curah Hujan

Jumlah stasiun penakar curah hujan yang digunakan untuk analisis kejadian hujan deras berjumlah 16 stasiun yang tersebar di DAS Ciliwung hulu dan tengah yaitu mulai kawasan Puncak sampai Depok.

Dalam analisis sebaran kejadian hari hujan yang digunakan untuk mengetahui pola kejadian hujan deras ada beberapa tahap pengolahan data diantaranya;

- a. Memasukan data curah hujan harian dari seluruh stasiun penakar curah hujan di wilayah Jakarta-Bogor yang berhasil dikumpulkan. Data curah hujan yang digunakan sebagai data input adalah data curah hujan harian pada bulan Oktober sampai Maret dengan asumsi pada bulan tersebut merupakan periode musim hujan yang sering menimbulkan bencana bagi kehidupan seperti banjir.
- b. Menentukan periode pengamatan dan jumlah stasiun yang akan digunakan dalam analisis data. Dasar analisis dari tahap ini adalah kelengkapan data dari setiap stasiun. Dari hasil pemilahan diperoleh 16 stasiun penakar curah hujan disekitar wilayah

- Anonymous, 1990, The Land Resources Of Indonesia A National Overview (Atlas). Government of the Republic of Indonesia, Ministry of Transmigration.14 hal.
- Anonymous, 1998, Survey dan identifikasi Sumberdaya Air di Jabotabek. Dep.PU, Dirjen Pengairan, Direktorat Bina Pelaksanaan Wil. Tengah. Jakarta
- Anonymous, 1985, Penelitian Hidrologi Untuk Evaluasi Usaha - Usaha Pengelolaan DAS. Puslitbang Pengairan Dep. PU. Bandung, 343 hal.
- Ade Suriadarma, Dadan Suherman, Achmad Sule, dan P.E. Hehanussa, 1989, Dampak Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Ciliwung Hulu Terhadap Potensi dan Kualitas Air. LIPI. Jakarta.56 hal.
- Chow, V.T. 1964. Hand Book of Applied Hydrology. Mc Grow Hill Book Company Inc, New York.
- Dilshad, M and L. J. Peel. 1994. Evaluation of The USDA Curve Number Method for Agricultural Catchment in The Australian Semi-arid Tropics. Australian Journal of Soil Research Vol. 32 No. 4.
- Hidayat Pawitan, 1989, Karakterisasi Hidrologi dan Daur Limpasan Permukaan Daerah Aliran Sungai Ciliwung. Institut Pertanian Bogor. Bogor.127 hal.
- Manan, S. 1979. Pengaruh Hutan dan Managemen Daerah Aliran Sungai. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Munaf, M. 1991. Kajian Sifat Aliran Sungai Ciliwung, Thesis Pascasarjana IPB.
- Siswoko, 1997, Pengelolaan Tata Air Kota Jakarta. Dalam Laporan Hasil Workshop I Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu, LIPI. Bogor.6 hal.
- Sri Harto. 1993. Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Viessman, W, G.L. Lewis and J. W. Knapp. 1989. Introduction to Hydrology. Harper and Row Publication. New York.
- Wilson,B.N., Billy, J.B., Ian, D.M. A Hydrology and Sedimentology Watershed Model. Part I: Modeling Techniques. Part II: Users Manual. Department of Agricultural Engineering. University of Kentucky, Kentucky.

Tabel 4.

Waktu		Stasiun Penakar Curah Hujan															
Tg Bulan	Thn	Depok	Citaya	Cibinong	Jonggol	Atan	Cimangg	Dramag	Cibalagung	Empan	Muar	Katulamp	Ciaw	Pdk	Gng	Citeko	Mean'
6	Februari 1985	109	155	30	22	117,4	10	45	23	50	6	41	70	31	66,42		
6	November 1986	24	36	12	14	41	103	6	43	37	114	73	3	62	12	24	34,2
15	Desember 1987	31	22	12	31	13,9	29	2	25	31	28	13	5	13	101	37	23,6
18	Desember 1988			35	18	30,7	90	3	36	40	29	39	4	13	41	88	45,42,91
4	Februari 1989	14	33	50	20	37,4	63	4	56	59	0	47	3	25	37	52	38,3
22	Januari 1990	23	20	18	105		17		21	13	29		1	11	20	54	95
23	Februari 1991	10	35	30	13	20,4	28	30,	56	102	25	60	3	6			101
25	Februari 1992	50	37	27	22	16	75	1	22	12	34	46		23		63	43,3
26	November 1993	94	108	43	38	29	23	23,	50	20	12	7	2	10			66
21	Januari 1994	22	32	35	14	16,2	46	59,	33	56	0	57,5	5	47			110
9	Februari 1995	42	26	18			19	3	150	88	12	13	6	31		78	70
6	Januari 1996	43				128	36,9	33	194	13	0	44	8	38		36	104
3	Januari 1997	16				14		51	22	12	35	68	2	36		45	162

Terdapat 13 hari kejadian hujan

Tg Bulan	Thn	Total stasiun yang digunakan	Total stasiun yang memenuhi syarat skenario 1%	Distribusi
6	Februari 198	13	13	100
6	November 198	16	16	100
15	Desember 198	16	16	100
18	Desember 198	15	15	100
4	Februari 198	16	15	94
22	Januari 199	13	13	100
23	Februari 199	14	13	93
25	Februari 199	14	14	100
26	November 199	14	13	93
21	Januari 199	14	13	93
9	Februari 199	13	13	100
6	Januari 199	13	12	92
3	Januari 199	13	13	100

Tabel 5.

Waktu		Stasiun Penakar Curah Hujan													Mean's			
Tg	Bulan	Thn	Depok	Citayam	Cibinong	Jonggol	Atang SJY	Cimanggu	Dramaga	Cibalagung	Empang	Muara Katulampa	Ciawi	Pdk Gede	Panjang	Gng. Mas	Cireko	Mean's
6	Februari	1985	15	155	30	22	117,4	19	105	45	23	50	6	41	70	31		66,4
16	Desember	1986	68	46	18	37	20,1	19	49	43	38	10	1	18	16		16,1	28,8
2	Februari	1987	25	29	38	40	39,3	22	28	49	43	21	5	0	56	27	8,2	33,0
18	Desember	1988	6		35	18	30,7	90	35	36	40	39	4	13	41	88	45	42,9
4	Februari	1989	64	33	50	20	37,4	63	43	56	59	47	3	25	37	52	38,3	38,1
27	Februari	1990	14	36	62	0	16,1	14		24	18	0	4	24	11	44	300	43,9
24	Februari	1991	1	16	19	57	70,2	12	53	39	20	63	7	3			151	43,7
26	Februari	1992	8	26	18	50	54,5	44	46,7	38	40	134		39		48	54,4	45,6
5	Desember	1993		18	125	0	31,5	72	38,2	50	72	50	3	35			23,1	47,5
22	Maret	1994	15	38	25	15	28	28	19,8	40	16	15	2	15			3,3	21,8
8	Februari	1995	0	96	34			28	22,1	53	35	74	4	50		76	48,2	49,0
13	Desember	1996	34				43	36	30	23	27	34	2	27		35	37	32,0
3	Januari	1997	16				14	51	13	22	12	68	2	36	45	162	42,9	41,3

Terdapat 13 kejadian hari hujan

Tgl	Bulan	Thn	Total stasiun yang digunakan	Total stasiun yang memenuhi syarat skenario 2	% Distribusi
6	Februari	1985	13	13	100
16	Desember	1986	15	14	93,33
2	Februari	1987	16	14	87,5
18	Desember	1988	15	14	93,33
4	Februari	1989	16	14	87,5
27	Februari	1990	15	11	73,33
24	Februari	1991	14	11	78,57
26	Februari	1992	14	13	92,86
5	Desember	1993	13	2	92,31
22	Maret	1994	4	3	92,86
8	Februari	1995	13	12	92,31
13	Desember	1996	12	2	100
3	Januari	1997	13	10	76,92