

# PENERAPAN METODE PENELUSURAN BANJIR (*FLOOD ROUTING*) UNTUK PROGRAM PENGENDALIAN DAN SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR **KASUS : SUNGAI CILIWUNG**

Sunu Tikno<sup>1</sup>

## Intisari

*Banjir merupakan suatu peristiwa hidrologi yang kadang sulit diprediksi kejadiannya dan sering mendatangkan kerugian. Metode penelusuran banjir (metode muskingum) telah banyak digunakan oleh ahli-ahli hidrologi untuk melakukan pengendalian banjir. Tulisan ini merupakan kajian penerapan metode penelusuran banjir di Sungai Ciliwung pada ruas Depok hingga Manggarai. Hasil perhitungan nilai-nilai konstanta dan koefisien sebagai berikut :  $x = -0.002$ ;  $K = 6$  jam;  $C_0 = 0.1443$ ;  $C_1 = 0.1409$  dan  $C_3 = 0.7147$ . Nilai  $K = 6$  jam berarti bahwa waktu perjalanan puncak gelombang banjir dari Depok menuju Manggarai adalah sekitar 6 jam*

## Abstract

*Flood is the hydrological event and the event occurrence was very difficult to predict and usually detriment. Flood routing (Muskingum method) has been applying for the effort of flood control. This paper described the study of application of flood routing using Muskingum method in Ciliwung River at Depok through Manggarai section. Calculated result of constant and coefficients value were:  $x = -0.002$ ;  $K = 6$  hours;  $C_0 = 0.1443$ ;  $C_1 = 0.1409$  and  $C_3 = 0.7147$ . The  $K$  value equal 6 hours indicated that travel time of the center mass of flood wave from Depok to Manggarai is 6 hours.*

Kata kunci : Flood routing, Muskingum method, travel time

## 1. PENDAHULUAN

Dalam waktu terakhir ini sekitar bulan Januari dan Februari 2002 banyak terjadi bencana banjir di mana-mana. Kejadian banjir saat itu dapat dikategorikan sebagai bencana alam besar dan sebaran kejadiannya meliputi beberapa lokasi. Di Pulau Sumatra meliputi: Medan, Riau dan beberapa lokasi lainnya sedangkan di Pulau Jawa meliputi : Jabotabek, Krawang, Situbondo, Pekalongan, Bondowoso, dan di beberapa tempat lainnya dalam skala yang lebih kecil.

Banjir yang terjadi saat itu disebabkan oleh beberapa sumber seperti : tingginya curah hujan yang berlangsung dalam durasi lama, sehingga menyebabkan banyak genangan air di wilayah perkotaan. Selain itu banjir disebabkan oleh meluapnya sungai-sungai utama yang melalui daerah pemukiman dan perkotaan, akibat intensitas curah hujan yang tinggi di daerah hulu atau sering disebut sebagai banjir bandang atau kiriman.

Dalam studi hidrologi fluktuasi dan perjalanan gelombang debit aliran dari satu titik bagian hulu ke titik berikutnya di bagian hilir dapat diketahui / diduga pola dan waktu perjalanannya. Metode itu biasa dikenal sebagai metode penelusuran banjir (*flood routing*). Menurut Soemarto (1987) Penelusuran banjir adalah merupakan peramalan hidrograf di suatu titik pada suatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf di titik lain. Hidrograf banjir dapat ditelusur lewat palung sungai atau lewat waduk.

Dalam prakteknya kajian penelusuran banjir ini bertujuan untuk : (1) Peramalan banjir jangka pendek; (2) Perhitungan hidrograf satuan pada berbagai titik sepanjang sungai dari hidrograf satuan di suatu titik sungai tersebut; (3) Peramalan terhadap kelakuan sungai setelah terjadi perubahan keadaan palung sungai (misalnya karena adanya pembangunan bendungan atau pembuatan tanggul) dan (4) Deviasi hidrograf sintetik.

Berdasarkan pemikiran di atas dan nilai kemanfaatan dari metode penelusuran banjir tersebut, penulis mencoba menerapkan metode penelusuran banjir dengan mengambil kasus Sungai Ciliwung. Pemilihan Sungai Ciliwung

1. Peneliti UPT Hujan Buatan, BPP Teknologi  
Email: sunu@bppt.go.id

semata-mata sebagai kasus saja dan sekaligus diharapkan dapat berguna sebagai bagian analisis kejadian banjir Sungai Ciliwung yang mempunyai dampak di wilayah DKI Jakarta.

## 2. PENULUSURAN BANJIR (FLOOD ROUTING)

Penelusuran banjir dapat juga di artikan sebagai penyelidikan perjalanan banjir (*flood tracing*). yang didefinisikan sebagai upaya prakiraan corak banjir pada bagian hilir berdasarkan corak banjir di daerah hulu (sumbernya). Oleh karena itu dalam kajian hidrologi penelusuran banjir (*flood routing*) dan penyelidikan banjir (*flood tracing*) digunakan untuk peramalan banjir dan pengendalian banjir.

Untuk melakukan analisis penelusuran banjir dihitung dengan menggunakan persamaan kinetik dan persamaan seri. Akan tetapi cara ini adalah perhitungan yang sangat sulit dan sangat lama dikerjakan. Oleh karena itu untuk keperluan praktek-praktek perhitungan hidrologi digunakan cara perhitungan yang lebih sederhana yaitu dengan metode perhitungan persamaan seri dan persamaan penampungan. Salah satu cara / metode yang biasanya digunakan adalah metode *Muskingum* (Sosrodarsono dan Takeda, 1980).

Penelusuran banjir dapat diterapkan atau dilakukan melalui / lewat dua bentuk kondisi hidrologi, yaitu lewat palung sungai dan waduk. Penelusuran banjir lewat waduk hasil yang diperoleh dapat lebih eksak (akurat) karena penampungannya adalah fungsi langsung dari aliran keluar (*outflow*). Dalam kajian ini penelusuran banjir dilakukan lewat palung sungai.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1. Data

Bahan untuk kajian penelusuran banjir ini adalah data tinggi muka air (TMA) dan data debit sungai Ciliwung yang diukur di dua tempat pos pengukuran yaitu pos pengukuran Depok (bagian hulu) dan pos pengukuran Manggarai (bagian hilir). Data ini dihimpun oleh Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, dimana sumber data primer diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta. Data yang digunakan berupa data pengamatan TMA (H) secara kontinyu di kedua pos pengukuran pada jam dan tanggal yang sama, yaitu periode tanggal 9 sampai dengan 12 Februari 1999.

Untuk memperoleh nilai debit aliran (Q) menggunakan persamaan lengkung debit (*rating curve*). Persamaan rating curve di pos Depok : 21.5

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran Debit di Depok dan Manggarai

Tgl	Jam	Depok	Manggarai
		I (m <sup>3</sup> /det)	D (m <sup>3</sup> /det)
9-2-99	22:00	22.15	35.06
	0:00	25.48	35.69
10-2-99	2:00	29.69	36.60
	4:00	35.23	37.30
	6:00	38.32	36.74
	8:00	44.33	37.86
	10:00	50.63	38.28
	12:00	57.20	38.49
	14:00	75.97	38.98
	16:00	96.45	39.40
	18:00	80.94	40.03
	20:00	68.73	40.66
	22:00	59.45	41.27
	0:00	50.63	42.39
11-2-99	2:00	48.50	45.57
	4:00	49.35	47.28
	6:00	61.73	47.90
	8:00	72.08	48.45
	10:00	65.43	48.79
	12:00	59.45	48.24
	14:00	55.86	47.70
	16:00	52.79	46.78
	18:00	50.63	44.05
	20:00	49.35	42.81
	22:00	48.50	48.31
	0:00	47.66	47.70
12-2-99	2:00	46.40	47.70

Sumber : Dinas PU – DKI Jakarta (cq. Program Pasca Sarjana IPB - Tahun 1999)

$(H + 0.22)^{1.5}$  dan di pos Manggarai :  $31.5 (H + 0.12)^{0.88}$ , Hasil tabulasi selengkapnya disajikan pada Tabel 1. Sungai Ciliwung dipilih berdasarkan pemikiran bahwa luapan aliran sungai Ciliwung sering menyebabkan banjir, khususnya di bantaran sungai Ciliwung dan beberapa lokasi di wilayah DKI Jakarta yang mendatangkan kerugian material dan non material cukup besar. Sehingga hasil kajian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai masukan dalam perencanaan dan pengendalian banjir di wilayah DKI Jakarta.

### 3.2. Metode Muskingum

Metode Muskingum adalah suatu cara perhitungan yang digunakan dalam penelusuran banjir dengan pendekatan hukum kontinyuitas. Metode Muskingum menggunakan asumsi : (1) Tidak ada anak sungai yang masuk ke dalam bagian memanjang palung sungai yang ditinjau; (2) Penambahan dan kehilangan air yang berasal dari air hujan, air tanah dan evaporasi semuanya diabaikan.

Untuk melakukan perhitungan dengan persamaan kontinuitas, maka dimensi waktu ( $t$ ) harus dibagi menjadi periode-periode  $\Delta t$  yang lebih kecil, yang disebut sebagai periode penelusuran (*routing period*). Periode penelusuran ( $\Delta t$ ) harus dibuat lebih kecil dari tempuh dalam bagian memanjang sungai tersebut, sehingga selama periode penelusuran ( $\Delta t$ ) puncak banjirnya tidak dapat menutup bagian memanjang sungai secara menyeluruh (Soemarto, 1987).

Persamaan kontinuitas yang umum dipakai dalam penelusuran banjir adalah sebagai berikut:

$$I - D = dS/dt \quad (1)$$

dimana :

$I$  = debit yang masuk ke dalam permulaan bagian memanjang palung sungai yang ditinjau (bagian hulu) ( $m^3/det$ )

$D$  = debit yang keluar dari akhir bagian memanjang palung sungai yang ditinjau (bagian hilir) ( $m^3/det$ )

$S$  = besarnya tampungan (storage) dalam bagian memanjang palung sungai yang ditinjau ( $m^3$ ).

$dt$  = periode penelusuran (detik, jam atau hari)

Untuk selang waktu  $t$ , maka persamaan di atas berubah menjadi :

$$I = (I_1 + I_2)/2$$

$$D = (D_1 + D_2)/2$$

$$dS = S_2 - S_1$$

Sehingga persamaan (1) menjadi :

$$(I_1 + I_2)/2 - (D_1 + D_2)/2 = S_2 - S_1 \quad (2)$$

Angka subscript 1 merupakan keadaan pada saat permulaan periode penelusuran dan subscript 2 merupakan keadaan pada akhir periode penelusuran.

Persamaan (2) di atas terdapat dua komponen yang tidak diketahui nilainya, yaitu  $D_2$  dan  $S_2$ . Sedangkan data yang lain seperti  $I$  dan  $I$  dapat diketahui dari hidrograf debit masuk, serta  $D_1$  dan  $S_1$  dapat diketahui dari periode sebelumnya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan dua nilai komponen tersebut diperlukan persamaan ketiga.

Sampai tahap ini membuktikan bahwa penelusuran banjir lewat palung sungai cukup rumit dan sulit, bila dibandingkan dengan penelusuran banjir lewat waduk. Persamaan yang digunakan pada waduk lebih sederhana, yaitu :  $D_2 = f(S_2)$ . Penelusuran banjir lewat palung sungai nilai tampungan (*storage*) tidak hanya merupakan fungsi dari debit keluar (*outflow*) saja, akan tetapi tergantung kepada debit masuk (*inflow*) dan debit keluar (*outflow*).

Menurut Mc Carthy dalam Wilson (1974) yang kemudian dikenal sebagai metode Muskingum, diajukan suatu persamaan dimana *storage* merupakan fungsi dari inflow sebagai berikut :

$$S = K \{ x I + (1 - x) D \} \quad (3)$$

dimana :

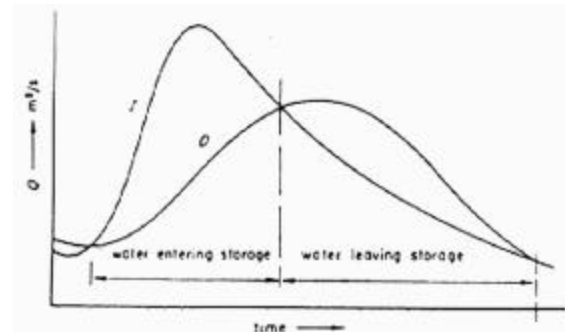
$x$  = konstanta tak bersatuan dari ruas sungai

$K$  = konstanta storage yang berdimensi waktu

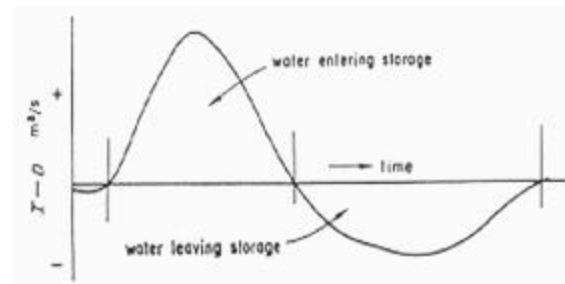
Nilai  $x$  dan  $K$  harus dicari dari data pengamatan hidrograf  $I$  dan  $D$  yang diukur dari dua tempat lokasi pengukuran, dalam hal ini hidrograf  $I$  diperoleh dari pos pengukuran Depok dan hidrograf  $D$  diperoleh dari pos pengukuran Manggarai. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (1980) berdasarkan praktek dan pengalaman bahwa nilai  $x$  untuk sungai-sungai alam berkisar antara 0 sampai 0.50. Akan tetapi makin curam kemiringannya, makin besar harga  $x$  itu. Biasanya harga  $x$  terletak antara 0.10 dan 0.30. Kadang-kadang harga  $x$  bernilai negatif.

Untuk mendapatkan nilai konstanta  $x$  dan  $K$  harus ditempuh melalui beberapa tahapan. Secara umum urutan tahapan yang ditempuh untuk mendapatkan nilai  $x$  dan  $K$  adalah sebagai berikut (Wilson, 1974) :

Seperti terlihat pada Gambar 1 menunjukkan secara simultan inflow ( $I$ ) dan outflow ( $D$ ) dari suatu ruas sungai. Selama  $I > D$ , air memasuki storage dalam ruas sungai tersebut dan apabila  $I < D$ , maka air meninggalkan (keluar) dari storage tersebut.



**Gambar 1.** Hubungan antara inflow ( $I$ ) dan outflow ( $D$ ) pada ruas sungai Ciliwung



**Gambar 2.** Hubungan antara air memasuki dan meninggalkan storage.

Gambar 2 yang berbentuk agak berbeda, merupakan gambaran hubungan antara air memasuki storage dan meninggalkan storage. Sedangkan Gambar 3, menunjukkan hubungan akumulasi storage dengan waktu.

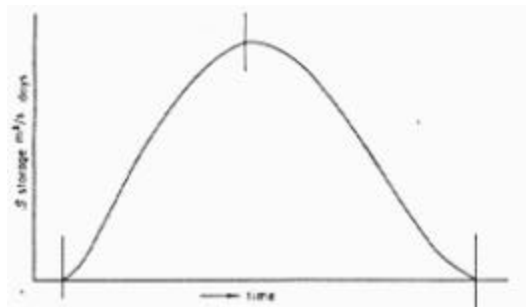
Apabila diasumsikan nilai  $x = 0.1$  dan nilai  $(0.1 I + 0.9 D)$  dihitung untuk berbagai waktu dan kemudian nilai  $(0.1 I + 0.9 D)$  tersebut diplot untuk berbagai  $S$  (*storage*) yang diambil dari Gambar 3. Maka plot yang dihasilkan disebut sebagai storage loop seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4a. Hubungan tersebut merupakan hubungan yang tidak linier. Jika diambil nilai  $x$  lainnya (misal : 0.2, 0.3 dan seterusnya) sampai didapat suatu hubungan yang linier seperti pada Gambar 4c; maka nilai  $x$  tersebut yang diambil. Selanjutnya nilai  $K$  dapat dihitung dengan mengukur slope dari garis lurus tersebut.

Setelah nilai  $x$  dan  $K$  diketahui, maka outflow  $D$  dari suatu ruas sungai dapat dicari berdasarkan persamaan sebagai berikut :

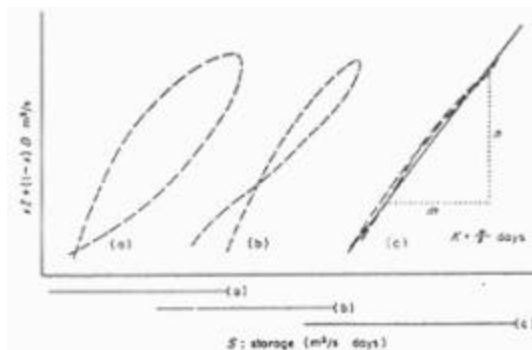
$$(I_1 + I_2)t / 2 - (D_1 + D_2)t / 2 = S_2 - S_1 \quad (4)$$

$$S_2 - S_1 = K [x(I_2 - I_1) + (1-x)(D_1 - D_2)] \quad (5)$$

Persamaan (4) dan (5) diatas merupakan persamaan  $S = K[xI + (1-x)D]$  dalam bentuk selang waktu diskrit. Dengan menggabungkan kedua persamaan tersebut di atas, diperoleh hasil :



**Gambar 3.** Hubungan antara akumulasi storage dengan waktu.



**Gambar 4.** Storage Looping

$$D_2 = CO I_2 + C_1 I_1 + C_2 D_1 \quad (6)$$

dimana :

$$CO = (Kx - 0.5t) / (K - Kx + 0.5t) \quad (7)$$

$$C_1 = (Kx + 0.5t) / (K - Kx + 0.5t) \quad (8)$$

$$C_2 = (K - Kx - 0.5t) / (K - Kx + 0.5t) \quad (9)$$

$$CO + C_1 + C_2 = 0 \quad (10)$$

Nilai  $K$  dan  $x$  menggunakan nilai hasil perhitungan dari ruas sungai yang ditinjau dan besaran  $t$  (waktu) diambil 2 jam, sesuai dengan periode pengamatan debit data awal.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Menentukan nilai $x$ dan $K$

Untuk menentukan nilai  $x$  dan  $K$  dari ruas sungai Ciliwung antara Depok dan Manggarai, maka terlebih dulu di susun suatu tabel perhitungan hubungan antara inflow ( $I$ ) yang terukur di pos Depok dan outflow ( $D$ ) yang terukur di pos Manggarai. Susunan tabulasi tersebut ditunjukkan seperti pada Tabel Lampiran 1.

Proses tabulasi seperti pada Tabel Lampiran 1. tersebut ditempuh sesuai dengan prosedur dalam perhitungan metode Muskingum. Dalam tabulasi itu sesungguhnya merupakan suatu bentuk *trail and error* dalam penentuan nilai  $x$  dan  $K$ . Nilai  $x$  diasumsikan (misal  $x = 0.1$ ) kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan  $(0.1 I + 0.9 D)$  untuk berbagai waktu seperti yang telah diuraikan di atas.

Sebagai pedoman dalam pemilihan nilai  $x$ , seperti yang disebutkan dalam berbagai buku hidrologi, bahwa untuk sungai alami nilainya berkisar antara 0 hingga 0.50. Akan tetapi nilai tersebut tidak mutlak berlaku pada sungai alami, kadang-kadang nilainya bisa negatif. Besar kecilnya nilai  $x$  pada sungai alami sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: kecuraman lereng sungai (*slope of river*).

Sedangkan nilai  $K$  adalah merupakan konstanta penampungan (*storage constant*) yaitu rasio tampungan terhadap debit, dan mempunyai dimensi waktu yang besarnya kira-kira sama dengan waktu perjalanan untuk melewati bagian ruas sungai yang ditinjau. Dalam Wilson (1974) disebutkan dari hasil analisis beberapa gelombang banjir menunjukkan bahwa waktu perjalananan antara pusat masa banjir di bagian hulu mencapai bagian hilir dari suatu ruas sungai yang ditinjau besarnya sama dengan nilai  $K$ .

Kemudian untuk membantu memudahkan dalam penentuan nilai  $x$  digunakan pendekatan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) antara Kumulatif Storage ( $S$ ) dengan  $[x I + (1 - x) D]$ . Bila nilai ( $r$ ) lebih besar dari

0.7 berarti terdapat hubungan korelasi antara kedua faktor tersebut, atau dengan kata lain hubungan kedua faktor mendekati garis lurus. Akan tetapi bila nilai ( $r$ ) kurang dari 0.7 berarti tidak ada hubungan antara kedua faktor dan tidak akan terbentuk hubungan garis lurus (Soemarto, 1987).

Hasil analisis koefisien korelasi ( $r$ ) antara Kumulatif Storage ( $S$ ) dengan  $[x I + (1 - x) D]$  dengan menggunakan berbagai nilai  $x$  diperoleh hasil seperti yang disajikan pada Tabel 2. Dalam tahap ini sekaligus dilakukan juga perhitungan *storage looping*, yaitu memilih nilai  $x$  yang tepat agar diperoleh suatu hubungan yang membentuk garis lurus antara kedua faktor tersebut.

**Tabel 2.** Nilai koefisien korelasi kumulatif storage dengan  $[x I + (1 - x) D]$

	$X=0.1$	$X=0.3$	$X=-0.002$
Nilai korelasi ( $r$ )	0.8582	0.6401	0.9063

Berdasarkan hasil analisis korelasi (Tabel 2) dan hasil plotting antara Kumulatif Storage ( $S$ ) dengan  $[x I + (1 - x) D]$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, maka dapat ditentukan nilai  $x$  dan  $K$  yang tepat untuk ruas sungai Ciliwung antara Depok sampai Manggarai.

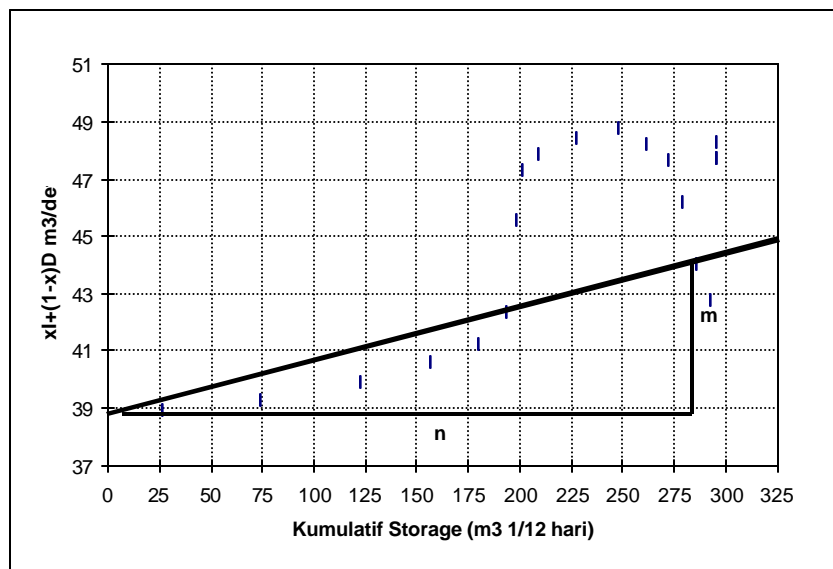
Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi antara Kumulatif Storage ( $S$ ) dengan  $[x I + (1 - x) D]$  terbesar pada nilai  $x = -0.002$ , yaitu sebesar 0.9063 yang berarti bahwa terdapat hubungan antara ( $S$ ) dengan  $[x I + (1 - x) D]$  dan secara statistik menunjukkan adanya hubungan garis lurus antara dua faktor di atas. Hal ini sesuai dengan yang disarankan oleh Soemarto (1987), bahwa bila koefisien korelasi antara  $S$  dengan  $[x I +$

$(1 - x) D]$  lebih besar dari 0.7, maka hal itu menunjukkan adanya korelasi antara kedua faktor dan memungkinkan akan diperoleh hubungan garis lurus (Gambar 5). Oleh karena itu nilai  $x$  terpilih dalam kajian ini adalah sebesar  $-0.002$ .

Harga nilai  $x$  yang kecil ( $-0.002$ ) ternyata bersesuaian dengan kondisi di lapangan. Berdasarkan kondisi topografi aliran Sungai Ciliwung yang bersumber dari Gunung Pangrango (3019 m) mengalir hingga muara mempunyai kelerengan sungai yang beragam. Kelerengan sungai dari Hulu hingga Depok termasuk kategori berlereng curam (antara 150 – 3019 m) sedangkan lereng antara Depok hingga Manggarai termasuk rendah atau datar yaitu berkisar 6 – 150 m diatas permukaan laut (Nippon Koei Co, Ltd. 1997). Seperti yang disebutkan di bagian depan makin besar kelerengan sungainya, maka makin besar pula nilai  $x$ .

Selain itu juga kondisi lereng ruas Depok hingga Manggarai akan berpengaruh terhadap nilai  $K$ . Berdasarkan hasil *storage looping* dan penentuan nilai  $x$  serta analisis korelasi yang kemudian diplotkan dalam grafik seperti pada Gambar 5, maka nilai  $K$  dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara laju  $[x I + (1 - x) D]$  dengan kumulatif storage ( $S$ ) atau perbandingan antara nilai  $m$  dengan  $n$  pada Gambar 5. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $K$  untuk ruas sungai Depok hingga Manggarai berkisar 6.0 jam. Nilai  $K$  sebesar 6.0 jam ini mempunyai arti bahwa pusat gelombang banjir yang terukur di pos Depok akan bergerak mencapai pos Manggarai dalam waktu kurang lebih 6 jam.

Kemudian langkah selanjutnya adalah menghitung koefisien  $C_0$ ,  $C_1$  dan  $C_2$  seperti yang dirumuskan pada persamaan (7), (8) dan (9). Dengan diketahuinya nilai koefisien ini dapat



**Gambar 5.** Hubungan antara  $xI+(1-x)D$  dan kumulatif storage

digunakan untuk menghitung atau memperkirakan besaran debit keluar (outflow) di pos Manggarai. Dengan kata lain bila kita mempunyai data debit (I) pos Depok dan dengan bantuan koefisien di atas kita dapat memperkirakan laju pola debit yang akan terjadi di pos Manggarai.

Hasil perhitungan ketiga koefisien di atas dengan memasukkan nilai  $x$  dan  $K$  diperoleh nilai sebagai berikut:  $C_0 = 0.1443$ ;  $C_1 = 0.1409$  dan  $C_2 = 0.7147$ . Setelah nilai koefisien diperoleh dan dengan bantuan persamaan (6), maka kita dapat memperkirakan / menghitung laju debit outflow (D) di stasiun pengukuran di bagian hilirnya, dalam hal ini adalah pos Manggarai.

Mengetahui laju outflow (D) di bagian hilir ini menjadi suatu hal sangat penting, karena bila di pos pengukuran di bagian hulu diketahui telah terjadi kenaikan muka air atau debit (gelombang banjir), maka kita dapat memperkirakan berapa lama pusat gelombang banjir tersebut sampai di pos bagian hilir dan seperti apa pola debit yang akan terjadi di bagian hilir. Dengan demikian bila metode penelusuran banjir ini dikaitkan dengan program pengendalian dan peringatan dini bahaya banjir, maka akan dapat disusun suatu program pemberitahuan atau antisipasi kepada penduduk / masyarakat yang berdiam di sekitar aliran sungai. Sehingga masyarakat dapat bersiap-siap untuk mengantisipasi atau menyelamatkan harta dan jiwa dari terpaan bahaya banjir yang lebih besar.

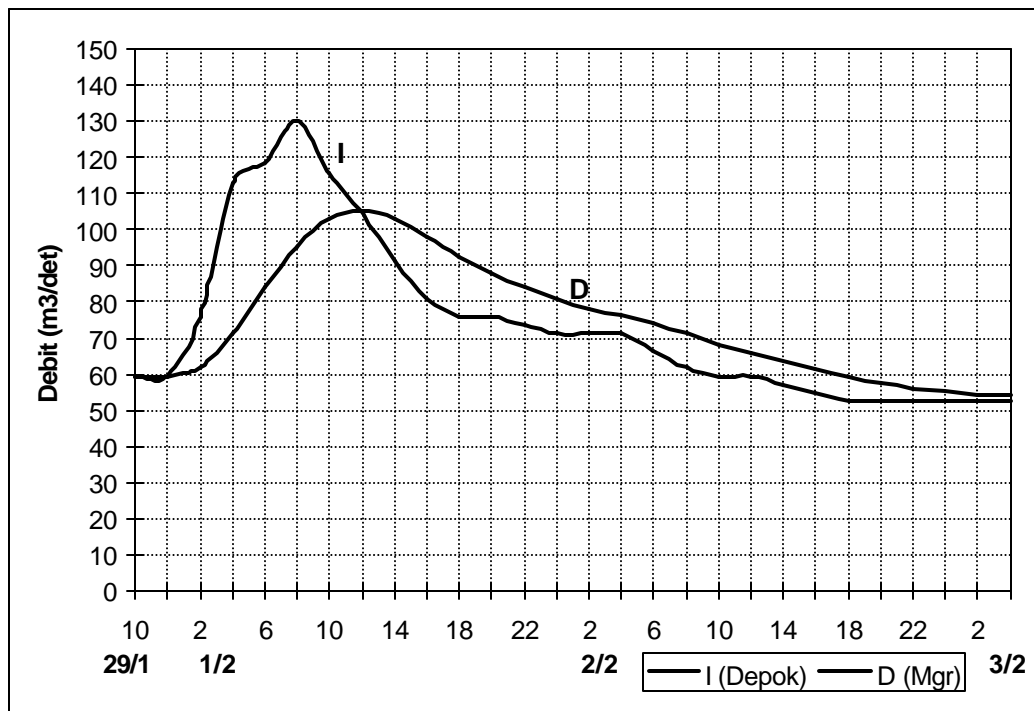
#### 4.2. Menghitung / memperkirakan laju debit di Manggarai

Untuk menghitung / memperkirakan laju debit (outflow) di pos Manggarai, digunakan data hasil pengamatan tinggi muka air (TMA) pada tanggal 29 Januari s.d. 3 Februari 2002. Pada kurun waktu tersebut bertepatan dengan peristiwa banjir yang melanda sebagian kota Jakarta, khususnya di wilayah yang berdekatan dengan aliran sungai Ciliwung. Data ini semata-mata sebagai sampel saja, untuk keperluan kajian tentang penelusuran banjir di sungai Ciliwung pada ruas Depok sampai dengan Manggarai.

Dalam penerapan metode penelusuran ini, diasumsikan bahwa persamaan rating curve di Pos Depok ( $21.5 (H + 0.22)^{1.5}$ ) masih berlaku sesuai dengan kondisi geometri sungai saat ini, sehingga perkiraan laju debit di pos Depok masih mewakili. Kemudian diasumsikan juga bahwa sepanjang ruas Depok hingga Manggarai tidak terjadi penambahan dan atau pengurangan air.

Hasil perhitungan perkiraan laju debit outflow (D) di Manggarai dengan menggunakan persamaan (6) dan periode pengamatan (t) sebesar 2 jam, selengkapnya disajikan pada Tabel 3. Sedangkan grafik hidrograf banjir pos Depok dan Manggarai di sajikan pada Gambar 6.

Dalam Gambar 6 tersebut nampak hubungan



**Gambar 6.** Hubungan antara inflow (I) di Depok dengan prakiraan outflow (D) di Manggarai.

**Tabel 3.** Perhitungan Laju Outflow (D) di Manggarai

Tgl	Waktu	(Depok)	0.1443*I2	0.1409 I1	0.7147 D1	(Manggarai)
Tgl	(jam)	I (m <sup>3</sup> /det)	(C0*I2) (m <sup>3</sup> /det)	(C1*I1) (m <sup>3</sup> /det)	(C2*D1) (m <sup>3</sup> /det)	D (m <sup>3</sup> /det)
31/01/02	10.00	59.45				59.45
1/2/02	24.00	59.45	8.58	8.38	42.49	59.44
	2.00	75.97	10.96	8.38	42.48	61.82
	4.00	112.84	16.28	10.70	44.19	71.17
	6.00	118.49	17.10	15.90	50.87	83.86
	8.00	130.06	18.77	16.69	59.94	95.40
	10.00	115.65	16.69	18.33	68.18	103.20
	12.00	104.53	15.08	16.30	73.75	105.13
	14.00	91.18	13.16	14.73	75.14	103.02
	16.00	80.94	11.68	12.85	73.63	98.16
	18.00	75.97	10.96	11.40	70.15	92.52
	20.00	75.97	10.96	10.70	66.13	87.79
	22.00	73.53	10.61	10.70	62.75	84.06
2/2/02	24.00	71.12	10.26	10.36	60.08	80.70
	2.00	71.12	10.26	10.02	57.68	77.96
	4.00	71.12	10.26	10.02	55.72	76.00
	6.00	66.37	9.58	10.02	54.32	73.91
	8.00	61.73	8.91	9.35	52.83	71.08
	10.00	59.45	8.58	8.70	50.80	68.08
	12.00	59.45	8.58	8.38	48.66	65.61
	14.00	57.20	8.25	8.38	46.89	63.52
	16.00	54.98	7.93	8.06	45.40	61.39
	18.00	52.79	7.62	7.75	43.88	59.24
	20.00	52.79	7.62	7.44	42.34	57.40
	22.00	52.79	7.62	7.44	41.02	56.08
3/2/02	24.00	52.79	7.62	7.44	40.08	55.13
	2.00	52.79	7.62	7.44	39.40	54.46
	4.00	52.79	7.62	7.44	38.92	53.98

Sumber : Dinas PU DKI Jakarta (Tahun 2002) dan hasil perhitungan

antara laju inflow (I) Depok dengan laju outflow (D) Manggarai. Pada tanggal 29 Januari jam 24.00 debit di pos Depok tercatat sekitar 60 m<sup>3</sup>/det dan kemudian pada jam-jam berikutnya debit mulai naik dan mencapai puncaknya sekitar jam 08.00 pagi tanggal 1 Pebruairai 2002. Saat debit mulai naik di Depok, di pos Manggarai juga mulai terjadi kenaikan debit, tetapi kenaikannya tidak sama seperti pos Depok. Misal di pos Depok jam 04.00 pagi tanggal 1 Pebruairai 2002 debitnya telah mencapai 115 m<sup>3</sup>/det, sedangkan di pos Manggarai baru mencapai sekitar 70 m<sup>3</sup>/det. Debit puncak di pos Depok terjadi sekitar jam 08.00 pagi tanggal 1 Februari 2002 sebesar 130 m<sup>3</sup>/det dan debit puncak yang akan terjadi di pos Manggarai diperkirakan terjadi pada jam 12.00 - 14.00 siang dengan laju debitnya sekitar 105 m<sup>3</sup>/det. Kemudian debit berangsur-angsur turun hingga mencapai posisi

normal kembali pada tanggal 3 Februari 2002 jam 02.00 dini hari dengan debit sekitar 60 m<sup>3</sup>/det.

Contoh penerapan metode penelusuran banjir (*flood routing*) pada kasus di atas menunjukkan bahwa dengan bantuan perhitungan-perhitungan metode flood routing, kita dapat mengikuti perjalanan gelombang banjir dari waktu ke waktu antara pos Depok dan Manggarai. Bila besaran debit outflow (D) di Manggarai telah diketahui hubungannya dengan dimensi profil / geometri penampang sungai, maka setiap perubahan debit dapat diketahui ketinggian muka airnya. Dengan kata lain bila telah diketahui hubungan antara debit dengan daya tampung sungai, maka dapat diketahui pula kapan air sungai akan mulai meluap dan kapan air sungai akan mulai surut.

Contoh kasus di atas membuktikan bahwa dengan metode penelusuran banjir dapat digunakan sebagai salah satu alat bantu (*tools*) dalam program

Pengendalian dan Sistem Peringatan Dini Banjir. Metode ini bila diintegrasikan dengan hardware (peralatan pengukuran hidrologi yang bekerja secara real time) dan software yang mampu melakukan perhitungan-perhitungan dengan cepat serta mampu membuat tampilan yang bagus, maka sangat berguna bagi program Pengendalian dan Sistem Peringatan Dini Banjir. Paling tidak dengan usaha diatas dapat memberikan informasi mengenai kondisi banjir dan upaya antisipasinya kepada masyarakat lebih lengkap dan akurat.

Dengan tersedianya informasi yang lengkap mengenai kondisi banjir yang sedang berlangsung di hulu (kuantitas debit dan waktu kejadian) dimana akan menuju ke arah hilir, maka masyarakat di bagian hilir yang berdekatan dengan aliran sungai dapat diperingatkan atau diinformasikan dalam waktu lebih dini. Sehingga masyarakat dapat berjaga-jaga dan mempersiapkan segala sesuatunya, agar mereka dapat menyelamatkan jiwa dan harta bendanya dari ancaman banjir, atau setidaknya memperkecil kerugian dan kerusakan yang akan dideritanya.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode Muskingum, diketahui bahwa nilai-nilai konstanta dan koefisien yang digunakan dalam perhitungan penelusuran banjir di Sungai Ciliwung pada ruas Depok hingga Manggarai adalah sebagai berikut :  $x = -0.002$ ;  $K = 6$  jam;  $C_0 = 0.1443$ ;  $C_1 = 0.1409$  dan  $C_3 = 0.7147$ .
2. Perjalanan puncak gelombang banjir dari Depok sampai Manggarai berlangsung sekitar 6 jam.
3. Metode penelusuran banjir dengan metode Muskingum ini dapat dijadikan sebagai masukan dalam program Pengendalian dan Sistem Peringatan Dini Banjir. Apalagi bila diintegrasikan dengan peralatan pengukuran hidrologi yang bekerja secara real time dan

didukung dengan software yang handal, maka nilai manfaatnya akan lebih baik lagi.

4. Untuk meningkatkan akurasi dalam estimasi debit di Depok dan Manggarai, perlu dilakukan kalibrasi ulang persamaan rating curve di kedua pos pengamatan tersebut. Mengingat telah terjadi banjir besar di awal tahun ini yang kemungkinan telah merubah geometri sungai.

## Ucapan Terima kasih

Dengan telah selesainya paper ini saya ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada rekan peneliti : Sutopo PN, SSI, MSc. dan Drs. M. Husni MTP atas dukungan datanya sehingga saya bisa menyelesaikan tulisan ini yang merupakan rasa keingintahuan saya mengenai perilaku banjir sungai Ciliwung, serta kepada Sdr. Pamuji atas bantuannya dalam seting gambar.

## Daftar Pustaka

- Dinas Pekerjaan Umum Propinsi DKI Jakarta. 2000: Pedoman Pelaksanaan Pengendalian Banjir.
- Japan International Cooperation Agency (JICA) and Directorate General of Water Resources Development Ministry of Public Works The Republic of Indonesia. 1997: The Study On Comprehensive River Water Management Plan in Jabotabek. Nikken Consultants, Inc. Nippon Koei Co., Ltd.
- Linsley, R.K., M.A. Kohler, and J.L.H. Paulhus. 1982: Hydrology for Engineers. 3<sup>rd</sup> ed. Mc Graw-Hill Company. New York.
- Soemarto, 1987: Hidrologi Teknik. Usaha Nasional. Surabaya.
- Sosrodarsono, S dan K. Takeda. 1980: Hidrologi Untuk Pengairan. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Wilson, E. M. 1974: Engineering Hydrology. The MacMillan Press Ltd. London.

## DATA PENULIS

**SUNU TIKNO** Lahir di Yogyakarta 1958. Lulus S1 Geografi Jurusan Hidrologi UGM 1985. Bekerja di UPT Hujan Buatan BPP Teknologi sejak 1987 sampai sekarang sebagai staf peneliti kelompok Hidrologi dan Lingkungan. Tahun 1991 sampai 1992 sebagai Ketua Kelompok Hidrologi dan Lingkungan. Pada tahun 1992 melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana (S2) di IPB pada program Studi Pengelolaan DAS (*Watershed Management*). Kursus dan pelatihan yang pernah diikuti : AMDAL A dan (GIS). Pada tahun 2001 diangkat sebagai Peneliti Muda.



**Tabel Lampiran 1. Perhitungan Storage Looping Metode Muskingum**

Tgl	Jam	I	D	I - D	Mean Strg	Cumul. Strg	X = 0.10			X = 0.30			X = -0.002		
							0.10 I	0.90 D	Total	0.30 I	0.70 D	Total	-0.002 I	1.002 D	Total
		(m3/det)	(m3/det)	(m3/det)	(1/12 m3 hari)	(1/12 m3 hari)	(m3/det)			(m3/det)			(m3/det)		
9-2-99	22:00	22.1	35.1	-12.9	-5.7	-5.7	2.21	31.55	33.77	6.64	24.54	31.18	-0.04	35.13	35.08
10-2-99	0:00	25.5	35.7	-10.2	-11.6	-17.3	2.55	32.12	34.67	7.65	24.98	32.63	-0.05	35.76	35.71
	2:00	29.7	36.6	-6.9	-8.6	-25.8	2.97	32.94	35.91	8.91	25.62	34.53	-0.06	36.67	36.61
	4:00	35.2	37.3	-2.1	-4.5	-30.3	3.52	33.57	37.09	10.57	26.11	36.68	-0.07	37.38	37.31
	6:00	38.3	36.7	1.6	-0.2	-30.6	3.83	33.07	36.90	11.50	25.72	37.21	-0.08	36.81	36.74
	8:00	44.3	37.9	6.5	4.0	-26.5	4.43	34.08	38.51	13.30	26.50	39.80	-0.09	37.94	37.85
	10:00	50.6	38.3	12.3	9.4	-17.1	5.06	34.45	39.52	15.19	26.80	41.99	-0.10	38.36	38.26
	12:00	57.2	38.5	18.7	15.5	-1.6	5.72	34.64	40.36	17.16	26.94	44.10	-0.11	38.57	38.45
	14:00	76.0	39.0	37.0	27.9	26.3	7.60	35.08	42.68	22.79	27.29	50.08	-0.15	39.06	38.91
	16:00	96.4	39.4	57.0	47.0	73.3	9.64	35.46	45.10	28.93	27.58	56.51	-0.19	39.48	39.29
	18:00	80.9	40.0	40.9	49.0	122.3	8.09	36.03	44.12	24.28	28.02	52.30	-0.16	40.11	39.95
	20:00	68.7	40.7	28.1	34.5	156.8	6.87	36.59	43.46	20.62	28.46	49.08	-0.14	40.74	40.60
	22:00	59.4	41.3	18.2	23.1	179.9	5.94	37.15	43.09	17.83	28.89	46.73	-0.12	41.36	41.24
11-2-99	0:00	50.6	42.4	8.2	13.2	193.1	5.06	38.15	43.21	15.19	29.67	44.86	-0.10	42.47	42.37
	2:00	48.5	45.6	2.9	5.6	198.7	4.85	41.01	45.86	14.55	31.90	46.45	-0.10	45.66	45.56
	4:00	49.3	47.3	2.1	2.5	201.2	4.93	42.55	47.49	14.80	33.10	47.90	-0.10	47.38	47.28
	6:00	61.7	47.9	13.8	7.9	209.1	6.17	43.11	49.28	18.52	33.53	52.04	-0.12	47.99	47.87
	8:00	72.1	48.4	23.6	18.7	227.8	7.21	43.60	50.81	21.62	33.91	55.54	-0.14	48.55	48.40
	10:00	65.4	48.8	16.6	20.1	248.0	6.54	43.91	50.46	19.63	34.16	53.78	-0.13	48.89	48.76
	12:00	59.4	48.2	11.2	13.9	261.9	5.94	43.42	49.36	17.83	33.77	51.60	-0.12	48.34	48.22
	14:00	55.9	47.7	8.2	9.7	271.6	5.59	42.93	48.51	16.76	33.39	50.15	-0.11	47.79	47.68
	16:00	52.8	46.2	6.6	7.4	279.0	5.28	41.56	46.84	15.84	32.33	48.16	-0.11	46.27	46.17
	18:00	50.6	44.1	6.6	6.6	285.6	5.06	39.65	44.71	15.19	30.84	46.02	-0.10	44.14	44.04
	20:00	49.3	42.8	6.5	6.6	292.1	4.93	38.53	43.46	14.80	29.96	44.77	-0.10	42.89	42.79
	22:00	48.5	48.3	0.2	3.4	295.5	4.85	43.48	48.33	14.55	33.82	48.37	-0.10	48.41	48.31
12-2-99	0:00	47.7	47.7	0.0	0.1	295.6	4.77	42.93	47.69	14.30	33.39	47.68	-0.10	47.79	47.70
	2:00	46.4	47.7	-1.3	-0.7	294.9	4.64	42.93	47.57	13.92	33.39	47.31	-0.09	47.79	47.70

Sumber : Dinas PU DKI Jakarta (Tahun 1999) dan hasil perhitungan