

PENGARUH POLA AGIHAN HUJAN TERHADAP PROFIL MUKA AIR DI SUNGAI OPAK

Sanidhya Nika Purnomo

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Mayjen Sungkono KM 05 Purbalingga
Email: sanidhyanka_purnomo@yahoo.com

Wahyu Widiyanto

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Mayjen Sungkono KM 05 Purbalingga
Email: wahyu.widiyanto.ts@gmail.com

ABSTRAK

Debit banjir merupakan dasar bagi perancangan sebuah bangunan air. Pada kondisi tertentu, perlu dilakukan analisis hidrograf satuan sintetik (HSS) menggunakan pola agihan hujan untuk mendapatkan debit banjir rancangan. Walaupun demikian belum banyak yang mengkaji pengaruh debit banjir rancangan sebuah metode HSS menggunakan pola agihan hujan tertentu terhadap profil muka air pada sebuah sungai. Pada penelitian ini dilakukan analisis debit rancangan menggunakan metode HSS Nakayasu berdasarkan pola agihan hujan Alternating Block Method (ABM) dan Tadashi Tanimoto. Hasil analisis debit banjir rancangan diverifikasi dengan rekaman data AWLR (Automatic Water Level Recorder) Karang Semut di Sungai Opak, kemudian dilakukan analisis hidrolika menggunakan software HEC-RAS versi 4.1, sehingga didapatkan profil muka air banjirnya. Hasil analisis hidrologi menunjukkan bahwa besar debit puncak banjir rancangan untuk kala ulang 25 tahun menggunakan metode HSS Nakayasu dengan pola agihan ABM adalah sebesar $1046 \text{ m}^3/\text{det}$, sedangkan untuk pola agihan Tadashi Tanimoto adalah sebesar $558,76 \text{ m}^3/\text{det}$. Berdasarkan analisis frekuensi, debit puncak dari rekaman AWLR Karang Semut untuk kala ulang 25 tahun adalah sebesar $242,04 \text{ m}^3/\text{det}$. Hasil analisis hidrolika menunjukkan hasil simulasi elevasi muka air banjir berdasarkan pola agihan ABM lebih tinggi $2,4 \text{ m}$ dibandingkan hasil simulasi elevasi muka air banjir berdasarkan rekaman data AWLR Karang Semut, sedangkan hasil simulasi elevasi muka air banjir berdasarkan pola agihan Tadashi Tanimoto lebih tinggi $1,18 \text{ m}$ dibandingkan hasil simulasi elevasi muka air banjir berdasarkan rekaman data AWLR Karang Semut.

Kata kunci: HSS Nakayasu, ABM, Tadashi Tanimoto, profil muka air.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki dua musim, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Permasalahan yang umum terjadi berkaitan dengan kedua musim tersebut adalah tidak seimbangannya air yang berada di permukaan bumi. Pada

saat musim hujan, fenomena yang terjadi adalah banjir, sedangkan pada saat musim kemarau, rawan terjadi kekeringan.

Bangunan air merupakan salah satu prasarana yang cukup penting dalam kehidupan umat manusia, salah satu manfaat bangunan air adalah untuk mengatasi banjir dan kekeringan. Sebagai

sarana pengendali banjir, struktur dan dimensi bangunan air harus mampu menahan debit banjir yang melewati suatu alur sungai.

Besaran debit banjir memegang peranan yang cukup penting terhadap kekuatan struktur, stabilitas bangunan, dan anggaran biaya pembuatan sebuah bangunan air. Jika pada perancangan bangunan air menggunakan debit banjir rancangan yang terlalu besar, maka dimensi bangunan airnya pun akan besar, dan hal itu akan berakibat pada mahalnya biaya pembuatan bangunan air. Di sisi lain, jika pada perancangan bangunan air menggunakan debit banjir rancangan yang terlalu kecil, maka dimensi bangunannya juga kecil, sehingga biaya pembuatannya relatif lebih murah, akan tetapi kekuatan bangunannya kurang kuat menahan debit banjir yang terjadi.

Menurut Sriharto (2000), untuk perancangan bendungan, pelimpah (*spillway*) harus mampu melewati banjir berapapun besarnya, karena bangunan ini merupakan 'kunci pengaman' sebuah bendungan. Bangunan ini tidak boleh menyebabkan *overtopping* sebuah bendungan. Apabila pelimpah tidak mampu melewati banjir besar dan terjadi *overtopping*, maka bendungan batu (*rockfill dam*) atau bendungan tanah (*earthfill dam*) akan runtuh dalam waktu sesaat. Untuk itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh debit banjir rancangan untuk sebuah metode hidrograf satuan sintetik yang berdasarkan pola agihan hujan tertentu.

Pada perancangan bangunan air, debit banjir yang terbaik sebagai dasar

perancangan bangunan air adalah rekaman data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*). Namun sayangnya tidak semua sungai memiliki AWLR, sehingga pada perancangan bangunan air digunakan debit banjir rancangan berdasarkan analisis Hidrograf Satuan Sintetik (HSS).

Pada analisis debit banjir rancangan, terdapat beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah penentuan model agihan hujan. Di ilmu hidrologi terdapat beberapa metode penentuan model agihan hujan, yang paling sering digunakan karena relatif mudah dalam proses analisisnya adalah metode *Alternating Block Method* (ABM) dan metode Tadashi Tanimoto.

Bahasan mengenai beberapa metode perhitungan hidrograf satuan sintetik, pola agihan hujan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Joko Sujono dan Rachmad Jayadi, 2007, telah melakukan analisis permasalahan dan alternative penyelesaian pada hidrograf satuan, I Wayan Sutapa, 2005, telah melakukan kajian HSS Nakayasu untuk perhitungan debit banjir rancangan di DAS Kodina. I Gede Tunas dan Arody Tanga, 2011, telah melakukan kajian pengaruh pola distribusi hujan terhadap penyimpangan debit puncak HSS Nakayasu di DAS Bangga, Sulawesi Tengah. Namun penelitian mengenai pengaruh debit banjir rancangan metode HSS Nakayasu berdasarkan pola agihan hujan terhadap profil muka air belum pernah dilakukan.

Pada makalah ini dibahas mengenai debit banjir rancangan menggunakan metode Nakayasu untuk Daerah Aliran Sungai (DAS) Opak di Provinsi Daerah

Istimewa Yogyakarta berdasarkan pola agihan hujan *Alternating Block Method* (ABM) dan Tadashi Tanimoto. Hasil analisis debit banjir rancangan tersebut akan diverifikasi dengan rekaman data debit dari AWLR yang berada di Sungai Opak, dan masing-masing data debit akan disimulasikan sebagai data masukan pada analisis hidraulika menggunakan software HEC-RAS versi 4.1, sehingga akan diketahui pengaruh pola agihan hujan metode ABM dan Tadashi Tanimoto pada profil muka airnya.

Data Hujan

Data hujan yang digunakan pada analisis hidrologi dapat berupa data hujan jam-jaman maupun data hujan harian. Ketersediaan data hujan tersebut ditentukan berdasarkan jenis alat penakar hujan yang terdapat di stasiun hujan.

Di Indonesia, sebagian besar stasiun hujannya masih menggunakan alat penakar hujan manual, sehingga ketersediaan data hujannya berupa data hujan harian. Data hujan harian tersebut nantinya akan digunakan pada analisis frekuensi. Namun sebelum dilakukan analisis frekuensi, data hujan harian tersebut dipilih seri datanya. Pemilihan seri data hujan dapat menggunakan metode *partial duration series* atau *annual maximum series*.

Metode *partial duration series* adalah metode yang digunakan apabila jumlah data kurang dari 10 tahun, dimana besarnya di atas suatu nilai batas bawah tertentu, sedangkan metode *annual maximum series* digunakan jika ketersediaan data hujan minimal 10 tahun data runtut waktu (Triatmodjo, 2008).

Distribusi Hujan Rancangan

Cara terbaik yang digunakan dalam analisis untuk mendapatkan besaran debit rancangan adalah dengan melakukan analisis frekuensi atas data debit terukur yang cukup panjang. Apabila data tak tersedia, analisis dapat dilakukan dengan cara melakukan analisis frekuensi terhadap data hujan, selanjutnya hujan-rancangan (*design rainfall*) diaplikasikan dalam model untuk memperoleh debit rancangan (Sri Harto, 2000).

1. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan suatu prosedur untuk memperkirakan frekuensi dari suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan hujan rancangan dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai antara distribusi hujan secara teoritik dengan distribusi hujan secara empirik. (Edy Sriyono, 2012).

Prosedur dalam melakukan analisis frekuensi adalah sebagai berikut:

- Hujan harian maksimum ditentukan berdasarkan data hujan dari stasiun pencatatan hujan.
- Menghitung hujan rerata DAS berdasarkan hujan harian maksimum dari prosedur 1. Penghitungan hujan rerata dapat menggunakan metode aritmatik, poligon thiessen, maupun isohiet.
- Hasil analisis hujan rerata dari prosedur 2 diurutkan dari nilai terbesar ke nilai terkecil, kemudian dihitung parameter statistiknya, yaitu nilai rerata, standar deviasi, koefisien skewness, koefisien

kurtosis, koefisien variasi, dan nilai tengahnya.

- d. Menentukan jenis distribusi yang sesuai berdasarkan hasil parameter statistik dari prosedur 3. Sri Harto, 1993, dalam Edy Sriyono, 2012, memberikan sifat-sifat distribusi frekuensi sebagai berikut:

- 1) Distribusi Normal, dengan sifat:

- 1) Skewness (Cs) = 0,00
- 2) Kurtosis (Ck) = 3,00
- 3) Prob $X \leq (\bar{X} - S)$ = 15,87 %
- 4) Prob $X \leq \bar{X}$ = 50,00 %
- 5) Prob $X \leq (\bar{X} + S)$ = 84,14 %

- 2) Distribusi Log Normal, dengan sifat:

- 1) $Cs = 3 Cv$
- 2) $Cs > 0$

- 3) Distribusi Gumbel, dengan sifat:

- 1) $Cs = 1,396$
- 2) $Cs = 5,4002$

- 4) Distribusi Log Pearson III, dengan sifat:

- 1) Jika tidak menunjukkan sifat-sifat seperti pada ketiga distribusi diatas,
- 2) Garis teoritik probabilitasnya berupa garis lengkung.

Untuk meyakinkan jenis distribusinya, data hujan dapat digambarkan pada kertas probailitas dan diuji dengan menggunakan Chi Kuadrat atau Smirnov Kolmogorov.

- e. Menghitung probabilitas hujan rancangan DAS dengan kala ulang tertentu berdasarkan hasil analisis distribusi pada prosedur 4. Probabilitas hujan rancangannya dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (1)$$

Dimana X_T adalah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun, $\bar{X}$ adalah hujan rerata, S adalah simpangan baku, dan K_T adalah faktor frekuensi untuk kala ulang T.

Triatmodjo, 2008, menyatakan bahwa dalam perhitungan banjir rancangan diperlukan masukan berupa hujan rancangan yang didistribusikan kedalam hujan jam-jaman (*hyetograph*). Model distribusi hujan yang telah dikembangkan untuk mengalihragamkan hujan harian ke hujan jam-jaman antara lain adalah *Alternating Block Method* (ABM), dan Tadashi Tanimoto.

2. Alternating Block Method (ABM)

Alternating Block Method adalah cara sederhana untuk membuat *hyetograph* dencana dari kurva IDF (Chow, 1988). Untuk membuat distribusi hujan metode ABM dibutuhkan intensitas hujan yang diperoleh dari kurva IDF. Pada makalah ini intensitas hujan dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.

$$I = \frac{R_{24}}{n} \left(\frac{n}{t} \right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

dimana I adalah intensitas hujan dalam mm/jam, R adalah hujan rancangan dalam mm, n adalah durasi hujan yang dihitung dengan menggunakan persamaan Kirpich (Persamaan 3), dan t adalah jam ke - i.

$$t_c = 3,97 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad \dots \dots \dots (3)$$

Setelah didapatkan intensitas hujan, langkah selanjutnya adalah menghitung kedalaman hujan, yang merupakan hasil perkalian antara intensitas hujan dengan durasi hujan. Prosedur berikutnya adalah

menghitung selisih antara kedalaman hujan yang berurutan, sehingga akan didapatkan prosentase untuk tiap selisih kedalaman hujannya. Prosentase tersebut diurutkan, dimana prosentase terbesar diletakkan ditengah, dan sisanya diurutkan secara berselang seling kanan dan kirinya. Blok *hyetograph* merupakan perkalian antara prosentase yang telah diurutkan dengan hujan rancangan hasil analisis frekuensi.

3. Metode Tadashi Tanimoto

Tadashi Tanimoto, 1969, dalam Triatmodjo, 2008, mengembangkan distribusi hujan jam-jaman yang dapat digunakan di Pulau Jawa. Distribusi hujan di Jawa menurut Tadashi Tanimoto tampak pada Tabel 1.

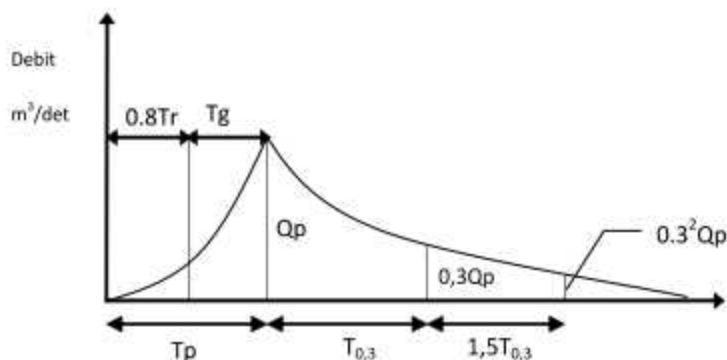
Tabel 1. Distribusi hujan di Pulau Jawa menurut Tadashi Tanimoto

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
%	25,00%	24,00%	12,00%	13,00%	7,00%	9,00%	4,00%	3,00%

Analisis Banjir Rencana

Ketiadaan rekaman data debit di sungai mengharuskan seorang perancang melakukan pengalihragaman data hujan menjadi data debit banjir di sungai. Salah satu metode untuk melakukan analisis banjir rancangan adalah dengan menggunakan analisis Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu.

HSS Nakayasu memiliki bentuk dan sifat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk tipikal HSS Nakayasu

Pada kurva naik, dimana $t < T_p$, maka persamaan debitnya menggunakan Persamaan 4.

$$Q_t = Q_p \times \frac{t^{2.4}}{T_p} \quad (4)$$

dimana Q_t adalah debit pada jam ke- t (dalam m^3/det), Q_p adalah debit puncak (m^3/det), dan T_p adalah jam puncak (jam).

Pada saat mencapai debit puncak, yaitu saat $T_p = T_g + 0.8T_r$, maka persamaan debit yang digunakan adalah Persamaan 5.

$$Q_p = \left(\frac{1}{36} \right) \left(\frac{A \cdot R_e}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots (5)$$

dimana A adalah luas daerah pengaliran sungai (km²), Re adalah curah hujan efektif (mm), T_{0,3} adalah waktu dari puncak banjir sampai 0,3 x debit puncak banjir.

Nilai T_g memiliki 2 persamaan, tergantung dari panjang sungai yang ada. Untuk panjang sungai yang lebih dari 15 km, maka digunakan Persamaan 6, sedangkan untuk panjang sungai kurang dari 15 km, digunakan Persamaan 7.

$$T_g = 0,4 + 0,058L \dots\dots\dots (6)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \dots\dots\dots (7)$$

Sedangkan pada kurva turun, juga terdapat 3 persamaan yang dapat digunakan, tergantung dari nilai T yang akan dihitung. Pada T_p < T_{0,3}, maka persamaan debitnya menggunakan Persamaan 8, pada T_{0,3} < T < T_{0,3}² persamaan debitnya menggunakan Persamaan 9, dan saat t > T_{0,3}², maka persamaan debitnya menggunakan Persamaan 10.

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0,3}} \right)} \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{(t-T_p) - (0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}} \right)} \dots\dots\dots (9)$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\left(\frac{(t-T_p) - (1,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}} \right)} \dots\dots\dots (10)$$

Sebuah hidrograf juga memiliki aliran dasar (*base flow*) Aliran dasar pada sebuah DAS dapat dihitung menggunakan Persamaan 11 (Sri Harto, 2000).

$$Q_B = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \dots\dots\dots (11)$$

dimana A adalah luas DAS (km²), dan D adalah kerapatan jaringan kuras (*drainage density*) atau jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Aliran antara adalah salah satu dari komponen aliran permukaan. Menurut Triatmodjo, 2008, aliran antara merupakan bagian dari infiltrasi, biasanya tidak termasuk dalam aliran permukaan yang dihitung dengan kurva kapasitas infiltrasi. Sehingga untuk menyederhanakan analisisnya, perkiraan aliran permukaan biasanya dihitung dengan menggunakan indeks infiltrasi (□). Besarnya indeks infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 12 (Sri Harto, 2000).

$$\Phi_{\text{min}} = -40,4903 - 3,859A^2 + 1,6985 \times 10^{-5}(A/SN)^2 \dots\dots (12)$$

dimana SN adalah frekuensi sumber atau perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.

Debit banjir merupakan penjumlahan dari perkalian unit hidrograf yang berasal dari HSS Nakayasu dan hujan efektif (didapatkan dari agihan hujan dikurangi dengan nilai phi indeks (□)) dengan aliran dasarnya.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk makalah ini adalah DAS Opak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi Sungai Opak tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. DAS Opak

Tahapan

Penelitian ini terbagi dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data sekunder

Pengumpulan data sekunder pada penelitian ini meliputi: data curah hujan, dimana stasiun hujan yang terdekat dengan daerah penelitian adalah Stasiun Hujan Pakem, Bronggang, Kempud, Gondangan, Angin-angin, Banjarharjo, Prumpung, Jangkang, Prambanan, Kolombo, Krajan, Dolo, Beran, Sambiroto, Juwengan, Sorogedug, Santan Barat, Depok, Tanjung Tirta, Trukan Sorogedug, Berbah, Mrican, Kedung Keris, Karangploso, Gandok, Terong, dan Barongan, dengan panjang data hujan dari tahun 1986 hingga 2005, data debit dari stasiun AWLR (Automatic Water Level Recorder) Karang Semut tahun 1993 sampai dengan 2003, dan data geometri sungai.

2. Analisis data

a. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dimulai dengan melakukan analisis frekuensi, membuat *hyetograph* dengan menggunakan metode ABM dan Tadashi Tanimoto, dan

menghitung hidrograf satuan sintetik dengan menggunakan metode Nakayasu.

b. Analisis Hidraulika

Analisis hidraulika dilakukan dengan menggunakan *software* HEC-RAS versi 4.1. *Software* HEC-RAS ini digunakan untuk mengetahui ketinggian muka air di Sungai Opak akibat adanya masukan debit banjir hasil dari analisis hidrologi.

3. Analisis hasil dan pembahasan

Berdasarkan analisis hidrologi, maka akan didapatkan perkiraan besaran debit banjir yang terjadi di DAS Opak untuk kala ulang 25 tahun. Hasil dari analisis hidrologi dimasukkan sebagai data masukan pada analisis hidraulika dengan menggunakan *software* HEC-RAS, sehingga akan didapatkan ketinggian muka air banjir di Sungai Opak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan debit banjir kala ulang 25 tahun, yang selanjutnya akan digunakan sebagai data masukan untuk analisis hidraulika.

1. Data Hujan

Data hujan untuk DAS Opak diambil dari Stasiun Hujan Pakem, Bronggang, Kempud, Gondangan, Angin-angin, Banjarharjo, Prumpung, Jangkang, Prambanan, Kolombo, Krajan, Dolo, Beran, Sambiroto, Juwengan, Sorogedug, Santan Barat, Depok, Tanjung Tirta, Trukan Sorogedug, Berbah, Mrican, Kedung Keris, Karangploso, Gandok, Terong, dan Barongan. Data hujan yang tersedia adalah data hujan harian dari tahun

1986 hingga tahun 2005, sehingga pada pengambilan seri datanya menggunakan metode *partial duration series*. Selanjutnya, dari data hujan harian tersebut

diambil data maksimum dalam setiap bulannya sehingga didapatkan data hujan yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hujan DAS Opak

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1986	70,90	64,89	66,02	59,76	16,97	61,44	5,10	5,75	37,80	26,00	71,18	53,27
1987	70,98	61,20	40,03	26,30	22,51	10,72	3,07	0,12	0,03	0,12	41,50	81,88
1988	61,12	113,70	56,76	34,46	60,75	64,19	3,10	1,39	5,59	56,43	59,74	57,38
1989	66,64	66,00	53,79	33,85	34,32	51,92	71,49	23,27	1,62	45,28	03,10	66,20
1990	66,87	71,20	60,39	64,00	22,91	24,35	7,06	27,70	3,63	17,73	25,75	81,79
1991	76,30	123,57	61,29	76,98	30,88	14,72	0,00	0,00	0,36	0,00	45,77	61,85
1992	66,42	99,32	77,13	83,03	36,67	14,73	20,31	88,98	35,17	56,10	70,53	64,59
1993	67,95	46,77	69,49	77,00	43,31	32,15	0,51	0,15	0,01	2,07	64,05	64,70
1994	53,51	76,61	98,49	55,35	25,60	0,00	0,00	0,00	0,02	11,26	95,45	72,40
1995	77,54	87,78	72,79	93,87	26,42	40,59	18,53	0,00	0,72	30,49	99,64	79,54
1996	61,48	59,51	49,63	46,12	16,10	0,21	3,31	9,74	0,30	34,71	70,68	77,84
1997	46,10	93,43	18,44	44,06	18,84	1,74	0,03	0,14	0,01	8,28	34,38	48,11
1998	51,12	77,21	62,89	72,01	23,60	74,31	46,47	20,34	15,72	73,44	84,33	39,99
1999	71,90	54,11	85,03	72,59	43,08	19,30	11,17	0,07	7,13	42,91	77,14	87,31
2000	56,90	74,28	56,05	57,14	31,77	37,43	6,47	24,21	3,47	39,42	99,89	49,29
2001	51,64	59,59	64,29	64,35	43,62	48,21	21,26	2,48	1,20	69,01	87,87	45,32
2002	56,14	81,38	56,30	38,88	56,75	8,10	1,09	0,00	0,00	12,57	35,78	53,38
2003	65,98	123,99	50,83	10,07	65,63	0,86	0,01	0,00	0,39	3,86	28,24	30,08
2004	66,76	59,58	82,36	16,12	47,34	3,94	16,99	1,19	3,34	13,96	44,54	89,59
2005	52,92	87,58	36,21	63,34	4,50	47,64	20,02	1,13	8,56	44,18	34,29	87,37

2. Analisis Frekuensi

Hujan rancangan menurut probabilitasnya pada DAS Opak untuk tiap

distribusi frekuensi ditunjukkan pada tabel

3.

Tabel 3. Hujan Rancangan DAS Opak

Probabilitas	Kala Ulang	NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
		XT	KT	XT	KT	XT	KT	XT	KT
0,9	1,11111111	70,73	1,28	81,36	1,16	82,11	1,10	83,45	1,08
0,5	2	96,58	0,00	95,03	0,06	94,43	0,16	93,49	0,18
0,2	5	107,87	0,84	106,70	0,77	106,08	0,72	105,14	0,73
0,1	10	113,45	1,28	112,86	1,24	113,76	1,30	113,60	1,33
0,05	20	118,23	1,64	118,22	1,64	121,14	1,87	122,20	1,89
0,04	25	119,63	1,75	119,83	1,77	123,48	2,04	125,03	2,08
0,02	50	123,61	2,06	124,55	2,13	130,70	2,59	134,07	2,63
0,01	100	127,20	2,33	128,97	2,46	137,86	3,14	143,54	3,17

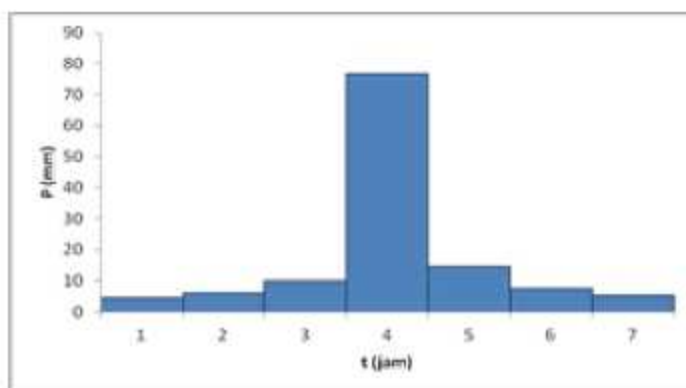
Hasil analisis distribusi frekuensi pada Tabel 3 selanjutnya diuji dengan menggunakan uji Chi Kuadrat dan uji Smirnov Kolmogorov. Hasil pengujian Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov menyatakan bahwa distribusi yang terbaik adalah Log Pearson III.

3. Alternating Block Method (ABM)

Hasil analisis *hyetograph* dengan menggunakan metode ABM untuk hujan rencana pada kala ulang 25 tahun tampak pada Tabel 4, sedangkan blok-blok dari *hyetograph* tampak pada Gambar 3.

Tabel 4. Hitungan agihan hujan menggunakan metode ABM untuk DAS Opak

T_d (jam)	Δt (jam)	I (mm/jam)	$I \cdot T_d$ (mm)	Δp (mm)	p_i (%)	hyetograph	
						(%)	(mm)
1	0-1	76,87	76,87	76,87	61,48	3,78	4,73
2	1-2	45,70	91,41	14,54	11,63	4,99	6,24
3	2-3	33,72	101,16	9,75	7,80	7,80	9,75
4	3-4	27,18	108,71	7,54	6,03	61,48	76,87
5	4-5	22,99	114,94	6,24	4,99	11,63	14,54
6	5-6	20,05	120,30	5,36	4,29	6,03	7,54
7	6-7	17,86	125,03	4,73	3,78	4,29	5,36
Jumlah				125,03	100,00	100,00	125,03



Gambar 3. Agihan hujan ABM DAS Opak

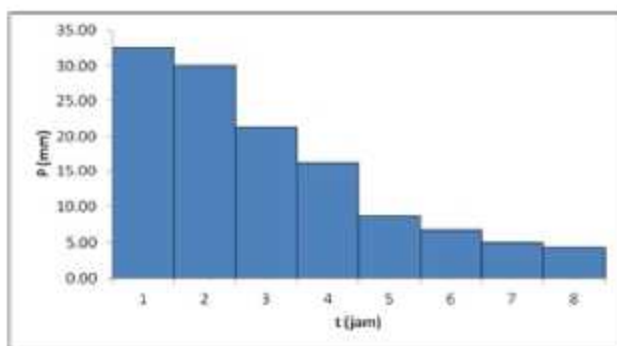
Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 3 tampak bahwa kedalaman hujan maksimum di DAS Opak menurut metode ABM adalah sebesar 76,87 mm.

4. Tadashi Tanimoto

Hasil analisis *hyetograph* dengan menggunakan metode Tadashi Tanimoto untuk hujan rencana pada kala ulang 25 tahun tampak pada Tabel 5, dan distribusi hujannya tampak pada Gambar 4

Tabel 5. Hitungan agihan hujan menggunakan metode Tadashi Tanimoto untuk DAS Opak

t (jam)	%	P% (mm)
1	26%	32,51
2	24%	30,01
3	17%	21,25
4	13%	16,25
5	7%	8,75
6	5,5%	6,88
7	4%	5,00
8	3,5%	4,38

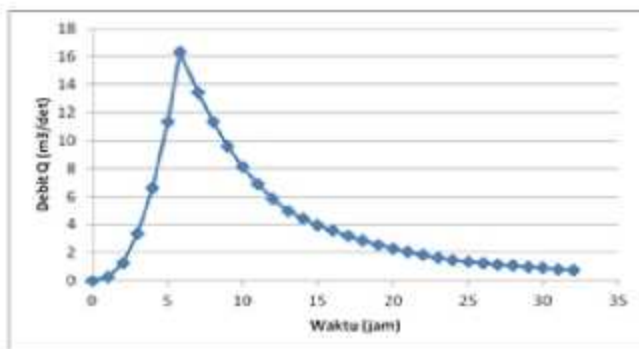


Gambar 4. Agihan hujan metode Tadashi Tanimoto DAS Opak

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 4 tampak bahwa kedalaman hujan tertinggi menurut metode Tadashi Tanimoto adalah sebesar 32,51 mm, jauh lebih kecil dari metode ABM.

5. Debit Banjir Rancangan

Untuk membuat debit banjir rancangan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat hidrograf satuan sintetik (HSS) terlebih dahulu. Hasil analisis HSS Nakayasu tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Debit banjir rancangan dianalisis berdasarkan HSS Nakayasu untuk masing-masing metode agihan hujan. Analisis debit banjir rancangan dihitung untuk kala ulang 25 tahunan, sehingga dianalisis menggunakan hujan rancangan 25 tahun. Hasil analisis debit rancangan kala ulang 25

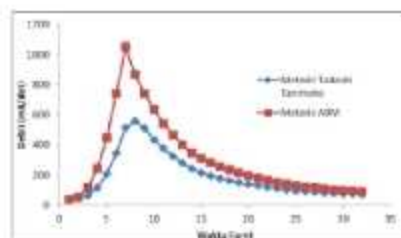
tahun untuk metode agihan hujan ABM tampak pada Tabel 6 dan untuk metode Tadashi Tanimoto tampak pada Tabel 7. Sedangkan hidrograf banjir untuk masing-masing metode agihan hujan ditunjukkan pada Gambar 6.

Tabel 6. Perhitungan debit banjir dengan menggunakan HSS Nakayasu berdasarkan agihan hujan metode ABM

Jam (Jam)	P (mm)	ϕ (mm)	P_{24} (mm)	UH (mm ³ /det)	UHPP ₂₄ (mm ³ /det)	Q _h (mm ³ /det)	Q _{limp} (mm ³ /det)
1	4,73	16,10	60,77	0,00	0,00	38,70	38,70
2	6,24	16,10		0,24	14,50	38,70	53,44
3	9,75	16,10		1,26	76,52	38,70	116,48
4	76,07	16,10		3,33	202,69	38,70	244,52
5	14,54	16,10		6,65	403,89	38,70	448,23
6	7,54	16,10		11,35	680,99	38,70	740,05
7	9,36	16,10		16,32	991,71	38,70	1046,73
8				13,41	815,11	38,70	867,22
9				11,37	680,70	38,70	740,76
10				9,63	585,28	38,70	633,61
11				8,16	485,95	38,70	542,81
12				6,92	389,28	38,70	465,67
13				5,86	304,11	38,70	400,67
14				4,97	231,76	38,70	345,43
15				4,43	208,84	38,70	312,07
16				3,96	200,63	38,70	283,49
17				3,50	215,98	38,70	257,90
18				3,18	193,11	38,70	234,99
19				2,85	173,93	38,70	214,47
20				2,50	154,85	38,70	196,10
21				2,28	138,00	38,70	179,84
22				2,04	124,17	38,70	164,91
23				1,83	111,19	38,70	151,72
24				1,64	99,57	38,70	139,90
25				1,47	89,16	38,70	129,32
26				1,35	82,00	38,70	122,14
27				1,24	75,57	38,70	115,61
28				1,14	69,57	38,70	108,41
29				1,05	64,04	38,70	103,79
30				0,97	58,95	38,70	98,62
31				0,89	54,26	38,70	93,85
32				0,82	49,85	38,70	89,47

Tabel 7. Perhitungan debit banjir dengan menggunakan HSS Nakayasu berdasarkan agihan hujan metode Tadashi Tanimoto

Jam (Jam)	P (mm)	ϕ (mm)	P_{24} (mm)	UH (mm ³ /det)	UHPP ₂₄ (mm ³ /det)	UHPP ₄₈ (mm ³ /det)	UHPP ₇₂ (mm ³ /det)	UHPP ₉₆ (mm ³ /det)	Q _h (mm ³ /det)	Q _{limp} (mm ³ /det)
1	32,51	16,10	16,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,70	38,70
2	30,01	16,10	13,91	0,24	3,91	0,00	0,00	0,00	38,70	42,85
3	21,25	16,10	9,16	1,26	20,88	3,32	0,00	0,00	38,70	63,94
4	16,25	16,10	9,15	3,33	64,88	17,51	1,23	0,00	38,70	115,45
5	8,75	16,10		6,65	109,06	46,35	6,49	0,04	38,70	207,28
6	6,88	16,10		11,35	186,32	92,44	17,18	0,20	38,70	346,18
7	5,00	16,10		16,32	267,79	157,82	34,27	0,52	38,70	515,51
8	4,30	16,10		13,41	220,10	226,98	98,95	1,03	38,70	658,76
9				11,37	186,51	186,56	84,15	1,76	38,70	509,03
10				9,63	158,04	158,08	69,16	2,23	38,70	436,14
11				8,16	133,92	133,08	58,61	2,08	38,70	375,42
12				6,92	113,48	113,51	49,66	1,78	38,70	324,03
13				5,86	96,18	96,10	42,08	1,49	38,70	280,48
14				4,97	81,48	81,51	35,66	1,26	38,70	243,58
15				4,43	72,62	69,07	30,22	1,07	38,70	216,10
16				3,96	65,03	61,05	25,60	0,91	38,70	195,70
17				3,50	58,23	55,12	22,82	0,77	38,70	178,19
18				3,18	52,15	49,38	20,43	0,69	38,70	164,50
19				2,85	46,69	44,20	18,30	0,61	38,70	151,28
20				2,50	41,81	39,68	16,39	0,55	38,70	139,57
21				2,28	37,44	35,44	14,67	0,49	38,70	129,03
22				2,04	33,63	31,74	13,14	0,44	38,70	119,69
23				1,83	30,02	28,42	11,77	0,39	38,70	111,13
24				1,64	26,89	25,45	10,54	0,35	38,70	103,56
25				1,47	24,07	22,79	9,43	0,32	38,70	96,78
26				1,35	22,17	20,41	8,45	0,28	38,70	90,35
27				1,24	20,41	18,79	7,57	0,25	38,70	84,96
28				1,14	18,78	17,30	6,97	0,23	38,70	80,12
29				1,05	17,29	15,92	6,41	0,21	38,70	75,59
30				0,97	15,92	14,66	5,90	0,19	38,70	71,34
31				0,89	14,65	13,49	5,43	0,18	38,70	67,35
32				0,82	13,49	12,42	5,00	0,16	38,70	63,59



Gambar 6. Hidrograf banjir kala ulang 25 tahun berdasarkan agihan hujan ABM dan Tadashi Tanimoto

Berdasarkan Tabel 6 tampak bahwa debit puncak rancangan untuk agihan hujan metode ABM adalah sebesar 1046,73 m³/det, sedangkan berdasarkan Tabel 7 tampak bahwa debit puncak rancangan untuk agihan hujan metode Tadashi Tanimoto adalah sebesar 558,76 m³/det.

Tabel 8. Data debit stasiun AWLR Karang Semut

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1993	61,20	57,00	36,00	119,00	22,00	7,40	5,60	4,40	4,40	4,80	16,50	39,20
1995	122,00	97,00	100,00	27,80	16,00	20,80	10,40	5,60	4,80	7,40	83,70	220,00
1996	29,20	77,20	12,20	15,50	7,75	4,80	4,60	3,60	3,80	12,20	16,00	58,00
1998	12,50	45,80	132,00	46,40	22,70	64,10	31,60	10,10	4,77	54,60	88,10	39,60
1999	235,00	82,00	170,00	42,70	32,80	10,00	20,10	4,77	2,34	7,01	42,00	96,80
2000	69,50	160,00	49,50	54,50	26,90	17,30	6,95	6,00	4,77	23,90	74,00	82,20
2001	35,00	121,00	51,00	22,90	15,00	5,25	3,30	3,50	2,75	1,50	5,25	18,00
2003	200,00	263,00	52,00	11,00	25,00	5,25	4,20	2,50	1,75	1,00	18,70	23,60

Dari Tabel 8 selanjutnya dilakukan analisis frekuensi untuk 4 distribusi frekuensi dan diuji dengan menggunakan Uji Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

Berdasarkan Tabel 6, Tabel 7, dan Gambar 6 tampak bahwa debit banjir hasil rancangan menggunakan agihan hujan metode ABM memiliki hasil perhitungan hidrograf yang jauh lebih besar daripada menggunakan agihan hujan Tadashi Tanimoto.

6. Rekaman Debit AWLR

Hasil analisis debit banjir rancangan dengan menggunakan HSS Nakayasu selanjutnya akan diverifikasi menggunakan data debit harian hasil observasi yang diperoleh dari stasiun AWLR Karang Semut. Rekaman data dari stasiun AWLR Karang Semut tampak pada Tabel 8.

Hasil analisis frekuensi debit harian di stasiun AWLR Karang Semut tampak pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisis frekuensi data debit harian stasiun AWLR Karang Semut

P(x > X _n) Probabilitas	T Kala ulang	Karakteristik Debit (m ³ /dt) Menurut Probabilitasnya							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
		XT	KT	XT	KT	XT	KT	XT	KT
0,9	1,1	29,09	-1,28	48,13	-0,98	39,75	-1,10	50,08	-1,20
0,5	2	104,43	0,00	81,95	-0,22	84,77	-0,16	87,26	-0,10
0,2	5	153,00	0,84	130,91	0,40	148,72	0,22	137,01	0,40
0,1	10	179,78	1,28	174,53	1,19	181,11	1,20	178,45	1,23
0,04	25	207,24	1,75	220,94	1,88	224,57	2,04	242,04	1,83
0,02	50	225,15	2,05	257,30	2,40	259,81	2,49	299,60	2,35
0,01	100	241,17	2,33	295,09	3,24	289,81	3,14	363,95	3,24
0,001	1.000	289,00	3,09	433,20	5,49	394,35	4,84	664,18	3,84

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode Chi Kuadrat didapatkan bahwa distribusi terbaik adalah distribusi Gumbel, sedangkan menurut pengujian menggunakan metode Smirnov Kolmogorov, distribusi yang terbaik adalah Log Pearson III. Hsiao-Mei Wang, 2009, menyatakan bahwa pengujian Smirnov Kolmogorov lebih valid daripada pengujian Chi Kuadrat karena Smirnov Kolmogorov memiliki nilai I error yang lebih kecil daripada Chi Kuadrat dan kekuatan Chi Kuadrat lebih kecil daripada Smirnov Kolmogorov, kecuali asumsi-asumsinya tidak terpenuhi. Untuk itu rekaman debit AWLR memiliki debit kala banjir kala ulang 25 tahun adalah sebesar 242,04 m³/det, sesuai dengan hasil pengujian Smirnov Kolmogorov.

Analisis Hidraulika

Analisis hidraulika dilakukan dengan menggunakan software HEC-RAS versi 4.1. Analisis hidraulika ini dilakukan untuk mengetahui elevasi muka air di Sungai Opak jika terjadi debit banjir kala ulang 25 tahun untuk tiap metode agihan hujan dan data debit dari AWLR.

1. Lay Out Sungai Opak

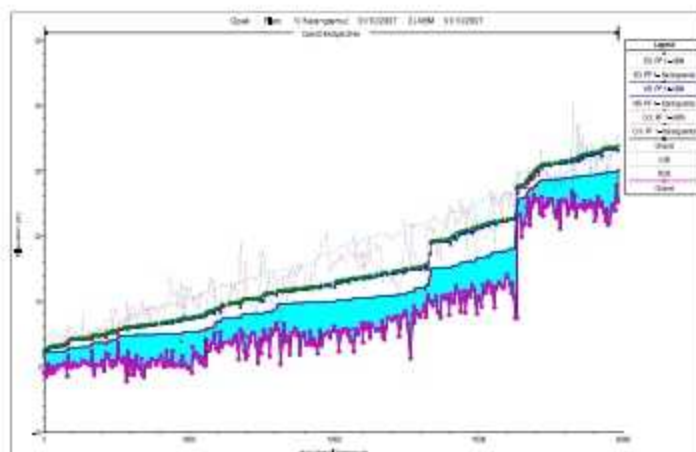
Untuk melakukan analisis hidraulika menggunakan software HEC-RAS, maka perlu dibuat *lay out* sungainya terlebih dahulu. *Lay out* Sungai Opak pada software HEC-RAS tampak pada Gambar 7.

Setelah membuat *lay out* sungai, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan input data berupa data debit banjir dari hidrograf yang telah dianalisis pada analisis hidrologi. Pada penelitian ini analisis hidrauliknya menggunakan aliran *steady*, sehingga data debit banjir yang dimasukkan adalah debit puncaknya



Gambar 7. *Lay out* Sungai Opak

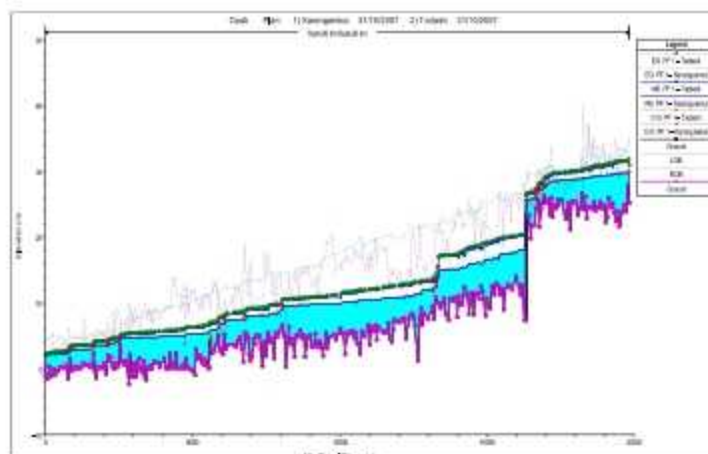
Profil muka air untuk input data menggunakan software HEC-RAS versi 4.1 berupa data debit hasil rekaman AWLR dan tampak pada Gambar 8. debit banjir beragihan metode ABM



Gambar 8. Profil muka air dengan input data debit AWLR dan debit banjir beragihan ABM

Berdasarkan Gambar 8 tampak bahwa elevasi muka air dengan debit banjir beragihan metode ABM jauh lebih tinggi daripada rekaman data AWLR, dengan selisih kedalaman muka air mencapai 2,4 m.

Profil muka air untuk input data berupa data debit hasil rekaman AWLR dan debit banjir beragihan metode Tadashi Tanimoto menggunakan *software* HEC-RAS versi 4.1 tampak pada Gambar 9.



Gambar 9. Profil muka air dengan input data debit AWLR dan debit banjir beragihan Tadashi Tanimoto

Berdasarkan Gambar 9 tampak bahwa elevasi muka air dengan debit banjir beragihan metode Tadashi Tanimoto jauh lebih tinggi daripada rekaman data AWLR, dengan selisih kedalaman muka air mencapai 1,18 m.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat ditarik kesimpulan:

1. Distribusi hujan terbaik untuk data hujan di DAS Opak adalah distribusi Log Pearson III, dengan kedalaman hujan maksimum menurut agihan hujan metode ABM sebesar 76,87 mm, dan menurut agihan hujan Tadashi Tanimoto adalah sebesar 32,51 mm.
2. Besar debit puncak banjir rancangan kala ulang 25 tahun menggunakan metode Nakayasu dengan pola agihan ABM adalah sebesar 1046 m³/det, sedangkan untuk pola agihan Tadashi Tanimoto adalah sebesar 558,76 m³/det.
3. Berdasarkan hasil analisis frekuensi debit AWLR Karang Semut, debit banjir kala ulang 25 tahun adalah sebesar 242,04 m³/det.
4. Elevasi muka air banjir berdasarkan debit banjir rancangan menggunakan pola agihan hujan ABM lebih tinggi 2,4 m dibandingkan elevasi muka air banjir berdasarkan rekaman data AWLR Karang Semut.
5. Elevasi muka air banjir berdasarkan debit banjir rancangan menggunakan pola agihan hujan Tadashi Tanimoto lebih tinggi 1,18 m dibandingkan elevasi muka air banjir berdasarkan rekaman data AWLR Karang Semut.

6. Berdasarkan analisis hidrologi dan hidraulika, tampak bahwa pola agihan hujan metode ABM memiliki hasil debit rancangan lebih tinggi daripada metode Tadashi Tanimoto, namun kedua metode agihan hujan tersebut jauh lebih tinggi daripada rekaman debit AWLR.
7. Perlu kehati-hatian pada pemilihan metode hidrograf satuan sintetik maupun pola agihan hujan dalam melakukan analisis debit banjir rancangan.

Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk data AWLR yang lebih panjang.
2. Perlu penelitian lebih lanjut untuk pola agihan hujan yang lain.
3. Perlu penelitian lebih lanjut untuk metode hidrograf satuan sintetik yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988, *Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill Book Company, Singapore
- Edy Sriyono, 2012, *Analisis Debit Banjir Rancangan Rehabilitasi Situ Sidomukti*, Jurnal Teknik Vol. 2, No 2/Oktobre 2012
- Hsiao-Mei Wang, 2009, Comparison of the Goodness-of-Fit Test: The Pearson Shi-square and Kolmogorov-Smirnov Test, *Metering Management Journal* Vol , No 1, Page 57 – 64, 2009
- I. Gede Tunas, Arody Tanga, 2011, *Pengaruh Pola Distribusi Hujan*

- Terhadap Penyimpangan Debit
Puncak Hidrograf Satuan Sintetik
Nakayasu, Mektek Tahun XIII No1,
Januari 2011
- I Wayan Sutapa, 2005, Kajian Hidrograf
Satuan Sintetik Nakayasu Untuk
Perhitungan Debit Banjir
Rancangandi Daerah Aliran Sungai
Kodina, Mektek Tahun VII No. 1,
Januari 2005
- Joko Sujono, Rachmad Jayadi, 2007,
Hidrograf Satuan: Permasalahan dan
Alternative Penyelesaian, Forum
Teknik Sipil No XVII/2, Mei 2007
- Sri Harto, 2000, *Hidrologi: Teori,
Masalah, dan Penyelesaian*, Nafiri
Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B., 2008, *Hidrologi Terapan*,
Beta Offset, Yogyakarta.