

ANALISIS DEBIT BANJIR RANCANGAN BANGUNAN PENAMPUNG AIR KAYANGAN UNTUK SUPLESI KEBUTUHAN AIR BANDARA KULON PROGO DIY

Edy Sriyono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra
Jalan Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta
Email: edysriyono@gmail.com

Abstrak

Rencana pembangunan Bandar Udara dan Pelabuhan Perikanan di Kabupaten Kulon Progo serta adanya penambahan penduduk di wilayah administrasi Daerah Istimewa Yogyakarta menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan (demand) akan air. Kebutuhan air tersebut perlu dijamin ketersediaannya terutama pada musim kemarau sehingga perlu diketahui potensi sumber daya air yang tersedia. Tujuan dilaksanakannya analisis ini untuk menentukan besaran-besaran banjir yang akan dipakai dalam perencanaan potensi sumber daya air. Metode yang digunakan dalam Analisis Debit Banjir Rancangan terdiri dari: Metode GAMA I dan metode Nakayasu dengan pertimbangan: keterbatasan data pengukuran dalam menurunkan hidrograf satuan, metode ini teruji untuk DAS di pulau Jawa, dan data yang dibutuhkan tersedia. Berdasarkan hasil analisis banjir rancangan, dapat disimpulkan bahwa dengan metode GAMA I dapat diketahui masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun $64,93 \text{ m}^3/\text{det}$, 2 tahun $76,05 \text{ m}^3/\text{det}$, 5 tahun $89,62 \text{ m}^3/\text{det}$, 10 tahun $99,90 \text{ m}^3/\text{det}$, 20 tahun $110,68 \text{ m}^3/\text{det}$, 50 tahun $126,09 \text{ m}^3/\text{det}$, dan 100 tahun $138,81 \text{ m}^3/\text{det}$. Sedangkan dengan metode Nakayasu dapat diketahui masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun $58,12 \text{ m}^3/\text{det}$, 2 tahun $68,03 \text{ m}^3/\text{det}$, 5 tahun $80,22 \text{ m}^3/\text{det}$, 10 tahun $89,42 \text{ m}^3/\text{det}$, 20 tahun $99,07 \text{ m}^3/\text{det}$, 50 tahun $112,86 \text{ m}^3/\text{det}$, dan 100 tahun $124,25 \text{ m}^3/\text{det}$.

Kata kunci: bangunan penampung air, debit banjir rancangan, GAMA I, Nakayasu.

PENDAHULUAN

Untuk menentukan besarnya debit sungai berdasarkan hujan perlu meninjau kembali hubungan antara hujan dan aliran sungai. Besarnya aliran sungai sangat ditentukan oleh besarnya hujan, intensitas hujan, luas daerah pengaliran sungai, lama waktu hujan, dan karakteristik daerah pengaliran itu. Analisis debit banjir rancangan bertujuan untuk menentukan besaran-besaran banjir yang akan dipakai dalam perencanaan potensi sumber daya air. Data debit banjir dapat diperoleh dari catatan debit secara manual maupun secara otomatis dari AWLR (*Automatic Water Level Record*). Untuk melakukan analisis frekuensi diperlukan seri data yang panjang. Apabila catatan debit banjir tersebut tidak mencukupi, namun tersedia data curah hujan yang cukup panjang maka debit rancangan dapat ditentukan berdasarkan pengalihragaman hujan menjadi aliran.

Pola Distribusi Hujan

Distribusi hujan ditentukan dengan berdasarkan model distribusi hipotetik (Chow et al., 1988 dalam Triatmodjo, 2009) yaitu menggunakan *alternating block method*, karena tidak terdapat data hujan otomatis atau tipikal pola distribusi hujan.

Untuk menentukan intensitas hujan berdasar data curah hujan harian digunakan rumus Mononobe sebagai berikut ini.

$$I_t = \frac{R_{24}^T}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (1)$$

Dengan:

I_t = intensitas hujan kala ulang T tahun (mm/jam)

t = lamanya curah hujan (jam)

R_{24}^T = curah hujan harian maksimum kala ulang T tahun (mm)

Intensitas hujan menurut Dr. Mononobe berdasarkan hujan rancangan dengan kala ulang 50 tahun sebagai berikut :

Tabel 1. Intensitas hujan

No.	Waktu (jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)
1	1	32,895
2	2	20,723
3	3	15,814
4	4	13,054
5	5	11,250

Durasi hujan dianggap lebih besar dari waktu konsentrasi yaitu waktu yang ditempuh oleh hujan untuk mencapai titik kontrol disimbolkan sebagai t_c . Ada berbagai macam cara untuk memperkirakan besarnya waktu konsentrasi. Kirpich mengembangkan rumus empiris sederhana untuk menentukan t_c dengan menggunakan data dari DAS pertanian yang kecil (Thomson, 1999 dalam Triatmodjo, 2009) dalam bentuk:

$$t_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (2)$$

Dengan:

- t_c = waktu konsentrasi (jam)
- L = panjang sungai utama (km)
- S = landai sungai utama

Tabel 2. Waktu konsentrasi

No.	Parameter	Sungai Kayangan
1.	Panjang sungai utama (km)	39
2.	Perbedaan H hulu-hilir (m)	180
3.	Landai sungai utama	0,02
4.	Waktu konsentrasi (jam)	0,60

Distribusi Hujan

Kedalaman hujan untuk menentukan distribusi hujan dihitung dengan pola hujan jam-jaman untuk durasi 5 jam. Kedalaman dan pola distribusi hujan pada DAS Kayangan dihitung dari hujan rancangan sebagai berikut :

Tabel 3. Pola Distribusi Hujan DPS Kayangan

No.	Lama hujan (jam)	Intensitas hujan (mm/jam)	Kedalaman hujan (mm)	Penambahan kedalaman (mm)	Pola distribusi hujan (%)
1	1	32,895	32,895	32,895	58,48
2	2	20,723	41,445	8,550	15,20
3	3	15,814	47,443	5,998	10,66
4	4	13,054	52,218	4,775	8,49
5	5	11,250	56,250	4,032	7,17
Jumlah				56,250	100,00

Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (C) didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi aliran dan tinggi hujan untuk jangka waktu yang cukup panjang. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya aliran sungai adalah : keadaan hujan, luas dan bentuk DAS, kemiringan DAS, kemiringan sungai, daya infiltrasi dan perkolasi tanah, kelembaban tanah, klimatologi dan lain-lain. Menurut Dr. Mononobe, koefisien pengaliran sungai-sungai di Jepang mempunyai harga C seperti pada Tabel berikut ini.

Tabel 4. Koefisien pengaliran menurut Dr. Mononobe

No.	Kondisi daerah pengaliran sungai	Harga C
1.	Daerah pegunungan yang curam	0,75 - 0,90
2.	Daerah pegunungan tersier	0,70 - 0,80
3.	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 - 0,75
4.	Tanah dataran yang ditanami	0,45 - 0,60
5.	Pesawahan yang diairi	0,70 - 0,80
6.	Sungai di daerah pegunungan	0,75 - 0,85
7.	Sungai kecil di dataran	0,45 - 0,75
8.	Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,50 - 0,75

Sumber : Sosrodarsono dan Takeda, 1981

Hujan Efektif

Hujan efektif adalah hujan netto atau bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Dengan menganggap bahwa proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung mengikuti proses linier dan tidak berubah oleh waktu, maka hujan netto (R_n) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_n = C \times R \quad (3)$$

Dengan :

R_n = hujan netto (efektif)

C = koefisien limpasan

R = curah hujan

Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan (*unit hydrograph*) didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan dari hujan netto yang terjadi merata di seluruh DAS dengan intensitas yang tetap dalam satu satuan waktu. Bentuk hidrograf menggambarkan karakteristik DAS yang bersangkutan.

Banyak rumus empirik untuk menentukan hidrograf satuan sintetik seperti HSS Gama I, Snyder, Nakayasu, Rasional dan sebagainya. Dari berbagai rumus hidrograf satuan sintetik tersebut, HSS Gama I adalah model hidrograf satuan yang dikembangkan khusus untuk pulau Jawa.

METODOLOGI

Analisis hidrograf satuan pada DAS Kayangan digunakan hidrograf sintetik satuan Gama I dan Nakayasu dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- keterbatasan data pengukuran dalam menurunkan hidrograf satuan
- penelitian metode ini teruji untuk DAS di pulau Jawa
- data yang dibutuhkan dalam metode ini tersedia

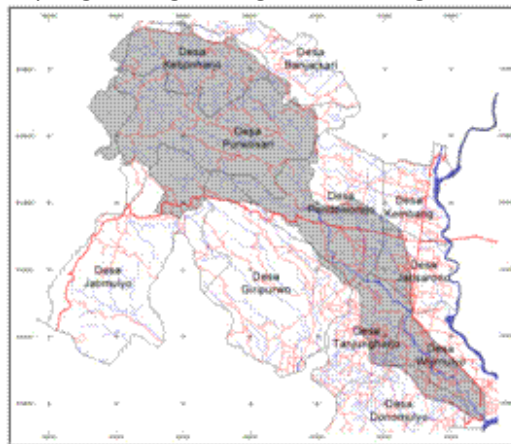
Lokasi Studi

DAS Kayangan termasuk dalam wilayah administratif: Kecamatan Samigaluh, Kecamatan Girimulyo, dan Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo. Lokasi DAS Kayangan dapat dilihat pada Gambar 1.

Hidrograf Satuan Sintetik Gama I

Dasar analisis metode HSS Gama I adalah dengan memanfaatkan parameter-parameter DAS untuk memperoleh hidrograf satuan sintetik. Parameter-parameter DAS tersebut adalah seperti dijelaskan dibawah ini:

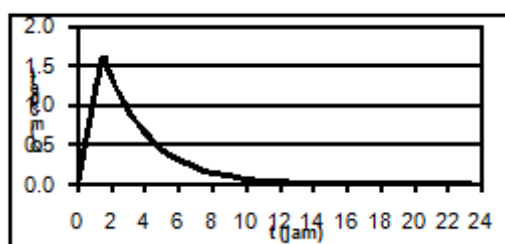
- 1). Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai-sungai tingkat satu dengan panjang sungai-sungai semua tingkat.
- 2). Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan antara jumlah pangsa (*segment*) sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai-sungai semua tingkat.



Gambar 1. Lokasi DAS Kayangan

- 3). Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DPS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri.
- 4). Luas DAS sebelah hulu (RAU), yaitu perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antar stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat titik berat DAS, melewati titik tersebut.
- 5). Faktor simetri (SIM), yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RAU).
- 6). Jumlah pertemuan sungai (JN), yaitu jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS tersebut. Jumlah ini adalah pangsa sungai tingkat satu dikurangi satu.
- 7). Kerapatan jaringan kuras (D), yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.
- 8). Luas DAS (A), panjang sungai utama (L), dan kemiringan rerata sungai utama (I).

Selanjutnya, hidrograf satuan diberikan dengan empat variabel pokok, yaitu waktu capai puncak (T_p), debit puncak (Q_p), waktu dasar (T_b), dan koefisien tampungan (K). Koefisien tampungan dipergunakan untuk menetapkan liku resesi hidrograf satuan yang pada dasarnya dapat didekati dengan persamaan eksponensial (Van Dam, 1979 dalam Harto, 1993). Persamaan unsur-unsur Hidrograf Satuan Sintetik Gama I, sebagai berikut:



Gambar 2. Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} T_p^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (4)$$

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-t/k}$$

$$K = 0,5617 A^{0,1798} I^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452}$$

$$T_b = 27,4132 T_p^{0,1457} I^{-0,0986} SN^{0,7344} RAU^{0,2574}$$

Dengan:

T_p = waktu capai puncak, dalam jam

L = panjang sungai utama, dalam Km

Q_p = debit puncak hidrograf satuan, dalam m^3/dt

A = luas DPS, dalam km^2

$$T_p = 0,43 (L/100SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775$$

Q_t = debit pada liku resesi hidrograf satuan, dalam $m^3/detik$

T = waktu yang dihitung setelah debit puncak, dalam jam

K = koefisien tampungan, dalam jam

T_b = waktu dasar hidrograf satuan, dalam jam

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Nakayasu, 1950 dalam Triatmodjo 2009 telah menyelidiki hidrograf satuan di Jepang dan memberikan serangkaian persamaan untuk membentuk suatu hidrograf satuan (Van de Griend, 1979). Waktu kelambatan (*time lag*) t_g dihitung dengan persamaan :

$$T_g = 0,4 + 0,058 L, \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \ \& \ T_g = 0,21 L^{0,7}, \text{ untuk } L > 15 \text{ km}$$

Dengan :

$$t_g = \text{waktu kelambatan (jam)}$$

$$L = \text{panjang sungai utama (km)}$$

Selain itu dirumuskan pula persamaan :

$$t_{0,3} = \alpha \cdot t_g$$

Dengan :

$$t_{0,3} = \text{waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak (jam)}$$

$$\alpha = \text{koefisien, nilainya antara 1,5 - 3,5}$$

Waktu puncak dan debit puncak hidrograf sintesis satuan adalah :

$$t_p = t_g + 0,8 t_r$$

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \cdot A \cdot R_0 \frac{1}{(0,3 t_p + t_{0,3})}$$

(5)

Dengan :

$$t_p = \text{waktu puncak}$$

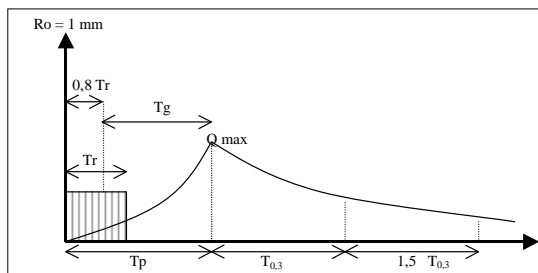
$$Q_p = \text{debit puncak (m}^3/\text{det)}$$

$$A = \text{luas DAS (km}^2\text{)}$$

$$t_r = \text{satuan lama hujan, } 0,5 t_g - t_g$$

$$R_0 = \text{satuan kedalaman hujan (mm)}$$

Untuk menggambar grafik hidrograf adalah sebagai berikut :



$$Q = Q_p \cdot \left(\frac{t}{t_p}\right)^{2,4}$$

Dengan :

Q = debit sebelum mencapai debit puncak pada saat t (m^3/det) & t = waktu (jam)

Bagian lengkung turun

Gambar 3. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Bagian lengkung naik ($0 < t < t_p$)

$$\text{untuk } 1 > \frac{Q}{Q_p} > 0,3, \ Q = Q_p \cdot 0,3 \left(\frac{t - t_p}{t_{0,3}}\right), \ \text{untuk } 0,3 > \frac{Q}{Q_p} > 0,09, \ Q = Q_p \cdot 0,3^{\left(\frac{t - t_p + 0,5 t_{0,3}}{1,5 t_{0,3}}\right)}$$

$$\text{untuk } \frac{Q}{Q_p} < 0,09, \ Q = Q_p \cdot 0,3^{\left(\frac{t - t_p + 1,5 t_{0,3}}{2 t_{0,3}}\right)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis selengkapnya dapat dijelaskan berikut ini.

Distribusi Hujan

Pola distribusi ditentukan dengan *alternating block method* seperti hitungan diatas. Distribusi untuk hujan dengan berbagai periode ulang pada DPS Kayangan disajikan pada Tabel 5.

Koefisien Pengaliran (C)

Perhitungan koefisien pengaliran (C) rerata pada DPS Kayangan berdasarkan tataguna lahan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Distribusi Hujan

No.	Lama hujan (jam)	Pola distribusi hujan (%)	Kedalaman hujan (mm)					
			P 2 thn	P 5 thn	P 10 thn	P 25 thn	P 50 thn	P100 thn
1	1	8,49	5,09	6,06	6,69	7,47	8,05	8,63
2	2	15,20	9,12	10,86	11,98	13,38	14,42	15,46
3	3	58,48	35,10	41,77	46,09	51,49	55,49	59,49
4	4	10,66	6,40	7,62	8,40	9,39	10,12	10,85
5	5	7,17	4,30	5,12	5,65	6,31	6,80	7,29
Jumlah		100,00	60,02	71,42	78,81	88,04	94,89	101,72

Tabel 6. Hitungan Koefisien Pengaliran (C)

No	Jenis Penggunaan Lahan	Prosentasi Luas (%)	Nilai Koefisien Pengaliran (C)	Koefisien Pengaliran
1	Kebun	21,39	0,55	0,118
2	Sawah Irigasi	11,76	0,75	0,088
3	Sawah Tadah Hujan	16,04	0,60	0,096
4	Tegalan/Ladang	8,02	0,50	0,040
5	Semak	13,37	0,70	0,094
6	Pemukiman	18,72	0,90	0,168
7	Hutan	10,70	0,50	0,053
Koefisien Pengaliran Rerata				0,658

Hujan Efektif

Koefisien pengaliran diambil sebesar 65,80 % dari pola distribusi hujan dengan berbagai periode ulang pada DPS Kayangan adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Hujan Efektif

No.	Lama hujan (jam)	Pola distribusi hujan (%)	Kedalaman hujan (mm)					
			P 2 thn	P 5 thn	P 10 thn	P 25 thn	P 50 thn	P100 thn
1	1	3,31	3,94	4,35	4,86	5,24	5,61	3,31
2	2	5,93	7,06	7,79	8,70	9,37	10,05	5,93
3	3	22,82	27,15	29,96	33,47	36,07	38,67	22,82
4	4	4,16	4,95	5,46	6,10	6,58	7,05	4,16
5	5	2,80	3,33	3,67	4,10	4,42	4,74	2,80
Jumlah		100,00	39,01	46,43	51,23	57,23	61,68	66,12

Parameter DAS GAMA I

Parameter DAS Kayangan dapat dilihat pada tabel berikut.

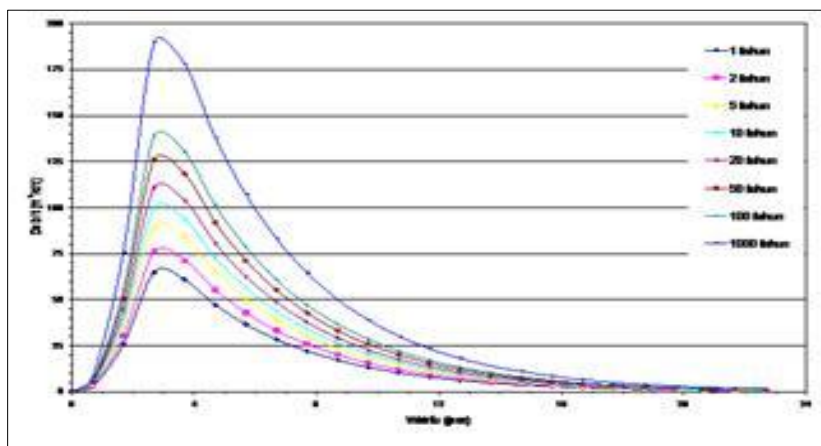
Tabel 8. Parameter DAS Kayangan

No.	Keterangan	Symbol	Satuan	S. Kayangan
1	Elevasi Hulu	H Us	M	600
2	Elevasi Hilir	H Ds	M	140
3	Jumlah pangsa sungai tingkat 1	-	Buah	9
4	Jumlah pangsa sungai semua tingkat	-	Buah	15
5	Panjang sungai utama	L	M	10.00
6	Panjang pangsa sungai tingkat 1	-	M	7.50
7	Panjang pangsa sungai semua tingkat	-	M	17.50
8	Jumlah pertemuan sungai	JN	Buah	8
9	Luas DPS hulu	AU	km ²	15
10	Luas daerah tangkapan air	A	km ²	28.75

11	Kemiringan sungai rata-rata	So	-	0.05
12	Faktor sumber	SF	-	0.43
13	Frekuensi sumber	SN	-	0.60
14	Kerapatan jaringan kurus	D	-	0.61
15	Lebar DPS pada jarak 0,75 L	WU	Km	4.50
16	Lebar DPS pada jarak 0,25 L	WL	Km	3.00
17	Faktor lebar	WF	-	1.50
18	Perbandingan AU dan A	RUA	-	0.52
19	$SIM = WF \cdot RUA$	SIM	-	0.78
20	Aliran dasar	QB	m^3/dt	2.59
21	Waktu konsentrasi/naik	TR	jam	2.11
22	Debit puncak	QP	m^3/dt	1.61
23	Waktu dasar	TB	jam	24.07
24	Koefisien tampungan	K	-	3.95

Analisis Debit Banjir Rancangan GAMA I

Sedangkan hitungan hidrograf banjir rancangan untuk berbagai periode ulang (1 tahun, 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, 100 tahun, dan 1000 tahun) pada DPS Kayangan dapat dilihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 4. Hidrograf Banjir Rancangan Gama I

Dari gambar tersebut di atas dapat diketahui bahwa masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun adalah $64,93 \text{ m}^3/\text{det}$, 2 tahun adalah $76,05 \text{ m}^3/\text{det}$, 5 tahun adalah $89,62 \text{ m}^3/\text{det}$, 10 tahun adalah $99,90 \text{ m}^3/\text{det}$, 20 tahun adalah $110,68 \text{ m}^3/\text{det}$, 50 tahun adalah $126,09 \text{ m}^3/\text{det}$, dan 100 tahun adalah $138,81 \text{ m}^3/\text{det}$.

Parameter DAS Nakayasu

Parameter dasar yang diperlukan untuk perhitungan hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah panjang sungai dan luas DAS. Adapun parameter dan perhitungan untuk waktu kelambatan (time lag) t_g , waktu lama hujan t_r , waktu puncak t_p dan debit puncak hidrograf sintesis satuan Q_p dapat dilihat pada tabel berikut.

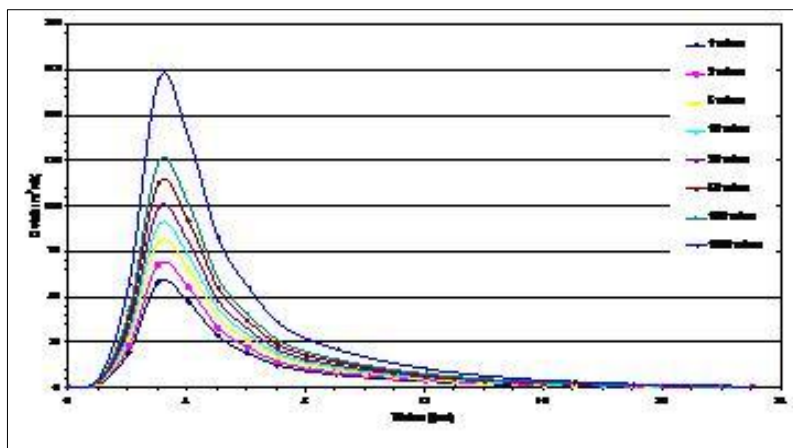
Tabel 9. Parameter Hidrograf Satuan Nakayasu

No.	Keterangan	Besaran	Satuan
1	Nama Sungai	Sungai Kayangan	-
2	Panjang Sungai Utama	10.00	km
3	Luas DAS	28.75	km^2
4	Waktu Kelambatan (t_g)	1.28	jam
5	Waktu Lama Hujan (t_r)	0.96	jam

6	Waktu 0,3 ($t_{0,3}$)	2.56	jam
7	Waktu Puncak (t_p)	2.05	jam
8	Debit Puncak Q_p	1.51	m^3/dt

Analisis Debit Banjir Rancangan Nakayasu

Sedangkan hitungan hidrograf banjir rancangan untuk berbagai periode ulang (1 tahun, 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, 100 tahun, dan 1000 tahun) pada DPS Kayangan dapat dilihat Gambar berikut ini.



Gambar 5. Hidrograf Banjir Rancangan Nakayasu

Dari gambar tersebut di atas dapat diketahui bahwa masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun adalah $58,12 m^3/det$, 2 tahun adalah $68,03 m^3/det$, 5 tahun adalah $80,22 m^3/det$, 10 tahun adalah $89,42 m^3/det$, 20 tahun adalah $99,07 m^3/det$, 50 tahun adalah $112,86 m^3/det$, dan 100 tahun adalah $124,25 m^3/det$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis banjir rancangan Bangunan Penampung Air Kayangan, maka dapat disimpulkan bahwa dengan metode GAMA I dapat diketahui bahwa masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun adalah $64,93 m^3/det$, 2 tahun adalah $76,05 m^3/det$, 5 tahun adalah $89,62 m^3/det$, 10 tahun adalah $99,90 m^3/det$, 20 tahun adalah $110,68 m^3/det$, 50 tahun adalah $126,09 m^3/det$, dan 100 tahun adalah $138,81 m^3/det$.

Sedangkan dengan metode Nakayasu dapat diketahui bahwa masing-masing debit puncak untuk kala ulang: 1 tahun adalah $58,12 m^3/det$, 2 tahun adalah $68,03 m^3/det$, 5 tahun adalah $80,22 m^3/det$, 10 tahun adalah $89,42 m^3/det$, 20 tahun adalah $99,07 m^3/det$, 50 tahun adalah $112,86 m^3/det$, dan 100 tahun adalah $124,25 m^3/det$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Azhari dan Suyitno, S.T. atas saran-sarannya demi lebih baiknya studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Harto, S., 1993, *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Loftin, M.,K., 2004, *Standard Handbook For Civil Engineers (Water Resources Engineering)*, McGraw-Hill (<http://www.digitalengineeringlibrary.com>), diakses tgl 17 Juni 2006.
- Sosrodarsono, S., dan Takeda, K., 1981, *Bendungan Type Urugan*, Cetakan Ketiga, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Triatmodjo, B., 2009, *Hidrologi Terapan*, Cetakan Kedua, Beta Offset, Yogyakarta.