

STUDI PENENTUAN *CONTROL WATER LEVEL* MAKSIMUM WADUK SUTAMI DAN LAHOR UNTUK MENGHINDARI KEMUNGKINAN TERJADI *OVERTOPPING* AKIBAT BANJIR PMF

Arief Satria M.¹

Aniek Masrevaniah²

Dian Sisingsih²

¹Program Magister Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

²Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

e-mails : ariefsatriam@yahoo.com, a_masrevani@yahoo.com, Singgih@brawijaya.ac.id

ABSTRAK

Maksud dari studi ini adalah untuk mengetahui nilai *CWL (Control Water Level)* maksimum yang diijinkan setiap bulan di Waduk Sutami dan Lahor berdasarkan analisa penelusuran banjir debit PMF (*probable maximum flood*). Tujuan dari studi ini adalah untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya *overtopping* akibat debit banjir PMF (Q_{PMF}). Studi ini perlu dilakukan mengingat Bendungan Sutami dan Lahor pada saat perencanaan masih didesain dengan debit banjir pada kala ulang 1000 tahun ($Q_{1000\ th}$) sedangkan standar keamanan bendungan yang ditetapkan oleh Komisi Keamanan Bendungan saat ini adalah debit banjir PMF.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa hidrologi debit banjir rancangan Q_{1000} dan Q_{PMF} serta penelusuran banjir di kedua waduk tersebut yang dilakukan secara simultan, karena kedua waduk ini terhubung oleh terowongan penghubung Waduk Lahor dan Sutami. Dari hasil analisa hidrologi Q_{PMF} tahunan yang berpotensi terjadi pada Bendungan Sutami nilainya adalah 11.629,14 m³/dt, dimana nilai Q_{PMF} ini setara dengan 2,31 x $Q_{1000\ th}$. Sedangkan Q_{PMF} tahunan yang berpotensi terjadi di Bendungan Lahor nilainya adalah 2.731,00 m³/dt, dimana nilai PMF ini setara dengan 2,70 x $Q_{1000\ th}$.

Berdasarkan hasil analisa penelusuran banjir Q_{PMF} bulanan diperoleh hasil bahwa nilai *CWL* maksimum bergerak pada rentang nilai elevasi muka air waduk minimum + 257,00 m dan maksimum + 267,00 m. Dimana nilai ini memberikan hasil bahwa pada Bendungan Sutami masih berpotensi terjadi *overtopping* sebanyak 3 kali kejadian dalam satu tahun dengan tinggi air 3,09 m di atas elevasi puncak bendungan. Oleh karena itu untuk mengantisipasi kemungkinan terjadi *overtopping*, secara struktural perlu dilakukan studi alternatif pembuatan pelimpah darurat pada Bendungan Sutami. Sedangkan pada Bendungan Lahor dengan adanya tinggi parapet setinggi 1 m sudah tidak berpotensi terjadi *overtopping*.

Kata kunci: *Control Water Level*, Penelusuran Banjir, *Probable Maximum Flood*, Waduk, *Overtopping*.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the value of CWL (Control Water Level) maximum allowable each month at Reservoir Sutami and Lahor based on flood routing analysis PMF (probable maximum flood). The purpose of this study is to anticipate the possibility of overtopping due to flood discharge PMF (Q_{PMF}). This study needs to be done considering the Dam Sutami and Lahor was designed in return period 1000 years ($Q_{1000\ th}$) while the dam safety standards set by the Dam Safety Commission today is the PMF flood discharge.

The method used in this study is to analyze of the design flood hydrology Q_{PMF} & $Q_{1000\ th}$ and simultaneously flood routing in the both of the reservoir, because both reservoirs are

connected by a connection tunnel which connecting Lahor and Sutami Reservoir. From the hydrology analysis annual Q_{PMF} of potentially occurred on Sutami Dam value is 11.629,14 m^3/dt , which Q_{PMF} value is equivalent to $2,31 \times Q_{1000\ th}$. While the annual Q_{PMF} potentially occur on Lahor Dams the dam value is 2731.00 m^3/dt which Q_{PMF} is equivalent to $2,70 \times Q_{1000\ th}$.

Based on the results of analysis of Q_{PMF} flood routing monthly CWL results that the maximum value moves in the range of minimum reservoir water level elevation of + 257.00 m and the maximum + 267.00 m. Where this value gives the analysis results that the potentially Sutami Dam overtopping still occur as much as 3 times the incidence in one year with the high water elevation 3.09 m above on top of dam elevation. Therefore, to anticipate the possibility of overtopping, structurally necessary to alternative study in making an emergency spillway in Sutami Dam. While in Lahor Dam with a parapet wall height of 1 m was not potentially overtopping.

Key Word: Control Water Level, Flood Routing, Probable Maximum Flood, Reservoir, Overtopping.

1. PENDAHULUAN

Bendungan Sutami dan Lahor terletak di Kabupaten Malang, Jawa Timur. Studi ini perlu dilakukan mengingat terjadinya perubahan cuaca yang ekstrim pada tahun-tahun terakhir ini terutama pada tahun 2010 dan isu pemanasan global pada dekade terakhir ini yang berdampak terhadap tingginya intensitas curah hujan serta adanya perubahan tata guna lahan yang semula dari semak belukar berubah menjadi permukiman dengan luas kawasan yang tidak terkendali yang berakibat naiknya koefisien pengaliran yang berdampak terhadap naiknya limpasan permukaan sehingga debit banjir di sungai menjadi semakin besar. Selain itu Bendungan Sutami dan Lahor pada saat perencanaan masih didesain dengan debit banjir dengan kala ulang 1000 tahun ($Q_{1000\ th}$), sedangkan standard keamanan bendungan yang ditetapkan oleh Komisi Keamanan Bendungan saat ini adalah debit banjir PMF

Perlu adanya peningkatan kewaspadaan terhadap kemungkinan terjadinya debit banjir PMF. dengan cara evaluasi kinerja pelimpah terhadap debit banjir PMF yang melebihi debit banjir rencana. Pembangunan pelimpah darurat tidak dapat diharapkan dikarenakan prioritas belanja negara, sehingga usaha

peningkatan kewaspadaan yang dapat dilakukan oleh pengelola bendungan adalah dengan meniaga tinggi muka air waduk (control water Level, CWL) sehingga pada saat terjadi debit banjir PMF, tampungan waduk masih dapat mereduksi banjir tersebut dan bahaya *overtopping* dapat terhindarkan atau minimal dapat dikurangi frekuensi potensi terjadinya.

Dalam perhitungan debit banjir PMF biasanya debit banjir PMF yang di dapat mewakili nilai tahunan. Apabila debit PMF ini diterapkan pada operasi waduk untuk mempertahankan CWL pada setiap bulan maka akan menimbulkan kerugian yang besar, karena zona tampungan waduk yang seharusnya dapat dimanfaatkan harus terbuang untuk mempertahankan CWL tersebut. Peluang kemungkinan terjadinya debit banjir PMF yang terjadi pada setiap bulan tentu berbeda maka dari itu perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan nilai debit banjir PMF untuk setiap bulan sehingga didapatkan nilai CWL yang berbeda untuk setiap bulan.

Maksud dan studi ini adalah untuk mengetahui nilai CWL maksimum setiap bulan di Waduk Sutami dan Lahor berdasarkan analisa penelusuran banjir serta alternatif penanggulangan secara struktural untuk mengantisipasi

kemungkinan terjadinya *overtopping* akibat debit banjir PMF.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Probable Maximum Precipitation (PMP)

Untuk analisa PMP ini digunakan cara statistik dengan persamaan (Hershfield D.M, 1965):

$$X_m = \bar{X}_n + K_m \cdot S_n$$

dengan:

X_m = curah hujan harian terbesar yang mungkin terjadi (mm/hari)

\bar{X}_n = rata-rata series data hujan harian maksimum tahunan (mm/hari)

K_m = variabel statistik, yang dipengaruhi oleh distribusi frekuensi nilai-nilai ekstrim

S_n = standart deviasi series data hujan harian maksimum tahunan (mm/hari)

2.2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dihitung menggunakan persamaan (Dept. Pekerjaan Umum RI 1976) :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 \left(0,3 T_p + T_{0,3} \right)}$$

Dengan :

Q_p = Debit puncak hidrograf satuan (m^3/det)

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak

2.3. Hidrograf Banjir

Secara matematik tabulasi perhitungan hidrograf banjir dengan ditambah aliran dasar dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Suripin, 2003):

$$Q_k = B_f + \sum_{i=1}^n U_i \cdot P_{n-(i-1)}$$

Dengan :

Q_k = Debit Banjir pada jam ke - k

U_i = Ordinat hidrograf satuan ($i = 1, 2, 3 \dots n$)

P_n = Hujan netto (hujan efektif) dalam waktu yang berurutan ($n = 1, 2, \dots n$)

B_f = Aliran dasar (*base flow*)

2.4. Penelusuran Banjir di Waduk

Perilaku perubahan elevasi muka air pada proses penelusuran banjir di waduk adalah ketika hidrograf banjir yang terjadi masuk ke tampungan waduk, muka air waduk akan terus mengisi ke kapasitas tampungan sementara (surcharge storage) yaitu tampungan yang terletak di atas ambang pelimpah. Aliran keluar melalui pelimpah akan terus mengalami kenaikan sampai elevasi tertentu hingga mencapai elevasi maksimum setara dengan debit outflow maksimumnya walaupun peningkatan tidak setara dengan peningkatan aliran yang masuk. Proses ini akan terjadi sampai puncak banjir tercapai, ketika inflow dan outflow akan menjadi sama. Sesudah itu debit outflow akan berangsur-angsur mengalami pengurangan yang selanjutnya pada waktu tertentu debit outflow lebih besar dari inflow.

3. METODOLOGI

3.1. Deskripsi Lokasi Studi

Bendungan Sulami dan Bendungan Lahor terletak di Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur. Luas DAW (Daerah Aliran Waduk) Sengguruh sebesar 1659 km^2 , remaining basin Bendungan Sutami sebesar 393 km^2 , sehingga total luas DAW Sutami sebesar 2052 km^2 , sedangkan Bendungan Lahor sebesar 160 km^2 .

Stasiun hujan yang ada di DAW Sengguruh, remaining basin Bendungan Sutami dan DAW Lahor secara keseluruhan berjumlah 8 stasiun, dimana Stasiun hujan yang masuk ke wilayah tersebut adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Stasiun hujan di DAW Sengguruh, Remaining Basin Bendungan Sutami dan DAW Lahor

No	Stasiun Curah Hujan	Luas Daerah Aliran Waduk (km ²)		
		DAW Sengguruh	Remaining Basin Sutami	DAW Lahor
1	Sta. Pujon	205,11	-	-
2	Sta. Tangkil	233,9	2,77	-
3	Sta. Puncokusumo	480,43	-	-
4	Sta. Dampit	395,43	-	-
5	Sta. Bend. Sengguruh	95,74	84,68	32,15
6	Sta. Bend. Sutami	-	41,55	58,07
7	Sta. Wagir	248,29	179,12	17,60
8	Sta. Tunggorono	-	84,73	52,20
Total		1658,9	392,85	160,02

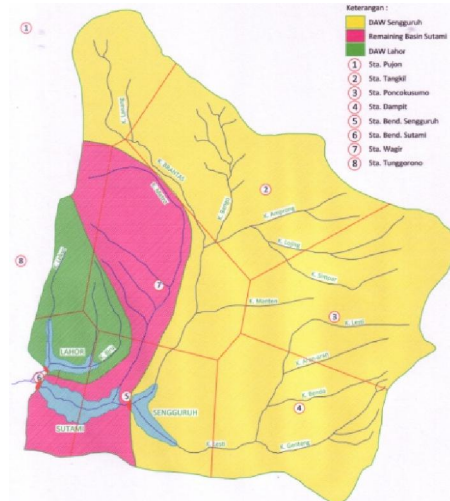
Sumber: Data Perum Jasa Tirta 1

3.2. Sistem Daerah Aliran Waduk (DAW) di Daerah Studi

Dalam analisa debit banjir rancangan dan penelusuran banjir yang terjadi di Bendungan Sutami dan Lahor ada beberapa hal terkait yang mempengaruhi analisa tersebut. Diantaranya hal terkait dengan analisa tersebut adalah adanya Bendungan Sengguruh yang berada di hulu Bendungan Sutami, adanya terowongan yang menghubungkan Waduk Lahor dan Sutami dan adanya outflow dari PLTA Bendungan Sutami.

Keterkaitan analisa, tersebut dengan Bendungan Sengguruh adalah adanya reduksi banjir oleh tampungan Bendungan Sengguruh selain itu adanya outflow dari PLTA Bendungan Sengguruh juga mempengaruhi debit banjir yang masuk ke Bendungan Sutami.

Adanya terowongan yang menghubungkan antara Waduk Sutami dan Lahor juga berpengaruh terhadap analisa penelusuran banjir, sehingga pada saat analisa penelusuran banjir Bendungan Sutami dan Lahor juga dipertimbangkan adanya debit yang masuk atau keluar melalui terowongan tersebut secara simultan atau mempertimbangkan tinggi muka air di kedua waduk sehingga didapatkan nilai debit yang masuk atau keluar melalui terowongan. Pintu terowongan tersebut terletak di Waduk Sutami, pengoperasian pintu terowongan tersebut jarang dilakukan sehingga kondisi terowongan selalu terbuka, kecuali keadaan khusus.



Gambar 1. Skema DAW Bendungan Sengguruh, Sutami dan Lahor

(Sumber: Data Perum Jasa Tirta 1)

Selain itu, outflow dari PLTA Bendungan Sutami juga diperhitungkan dalam analisa penelusuran banjir Bendungan Sutami dan Lahor karena nilai outflow tersebut dapat mengurangi debit puncak banjir yang terjadi.

3.3. Tahapan Studi

Beberapa tahapan untuk penyelesaian studi ini adalah pengolahan data hidrologi yang pada prinsipnya adalah analisa hujan rancangan (design rainfall) untuk perhitungan debit banjir rancangan (design flood) dan penelusuran banjir (flood routing) yang meliputi:

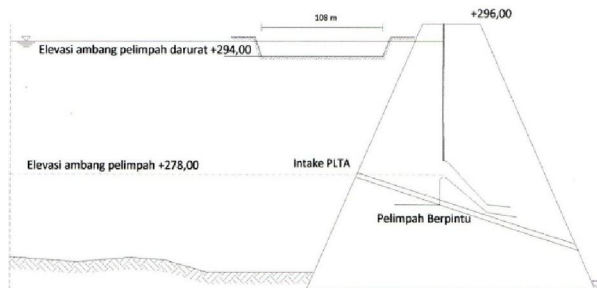
- Analisa hujan daerah harian maksimum
- Analisa hujan rancangan metode Gumbel type I
- Analisa hujan maksimum yang mungkin terjadi (PMP, *probability maximum precipitation*)
- Analisa uji kesesuaian distribusi frekuensi (Chi square & Smirnov Kolmogorov)
- Analisa hidrograf satuan sintetik Nakayasu
- Analisa hidrograf banjir rancangan (*design flood*)
- Analisa kurva kapasitas tampungan waduk dan luas genangan waduk (*storage area curve*)

- h. Analisa kapasitas pelimpah, penelusuran banjir di waduk melalui pelimpah dan Analisa penelusuran banjir di sungai.
- i. Analisa penentuan elevasi muka air waduk (*control water level*) sebagai pedoman yang aman untuk mendapatkan reduksi puncak banjir dalam rangkaantisipasi kemungkinan bahaya terjadinya *overtopping*.
- j. Memberikan rekomendasi teknis tentang elevasi muka air waduk (*control water level*) maksimum pada setiap bulan dalam satu tahun sebagai pedoman operasi waduk terkait dengan pengamanan kemungkinan bahaya terjadinya *overtopping*.

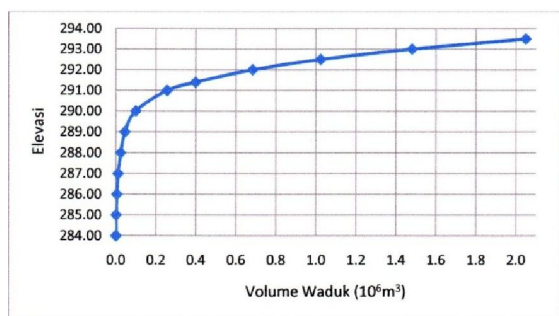
3.4. Data Teknis

a. Bendungan Sengguruh

Bendungan Sengguruh mempunyai manfaat pembangkit listrik sebesar 29 MW, disamping itu Bendungan Sengguruh juga memiliki manfaat sebagai penahan sedimen.



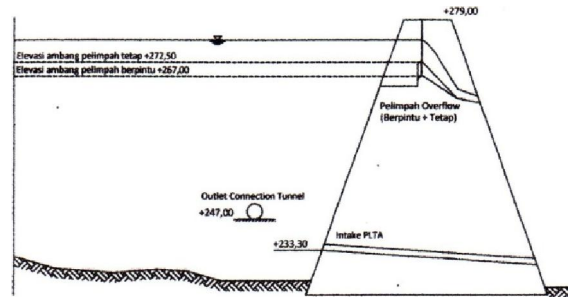
Gambar 2. Skema Long Section Bendungan Sengguruh (Sumber: Data Manual O&P PJT 1)



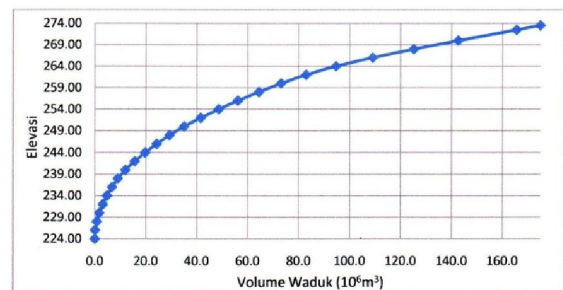
Gambar 3. Kurva Kapasitas Tampungan Waduk Sengguruh (Sumber: BPDFL Perum Jasa Tirta 1)

b. Bendungan Sutami

Bendungan Sutami mempunyai manfaat pembangkit listrik dengan daya terpasang sebesar 3 x 35 MW, disamping itu Bendungan Sutami juga memiliki manfaat sebagai pengendali banjir serta pengendalian air baku dan lain-lain.



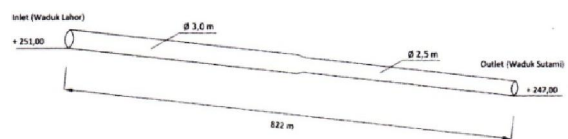
Gambar 4. Skema Long Section Bendungan Sutami (Sumber: Data Manual O&P PJT 1)



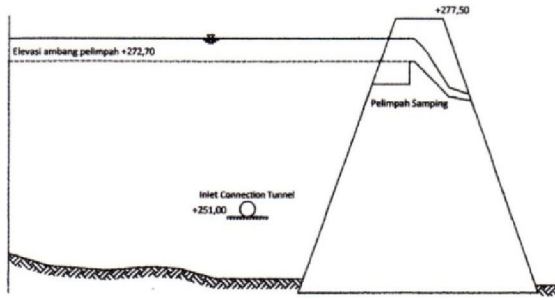
Gambar 5. Kurva Kapasitas Tampungan Waduk Sutami (Sumber: BPDFL Perum Jasa Tirta 1)

c. Bendungan Lahor

Bendungan Lahor mempunyai manfaat sebagai suplai air ke Bendungan Sutami sehingga daya terpasang di Bendungan Sutami dapat meningkat menjadi 1 x 35 MW, dimana jika tanpa suplai dari Bendungan Lahor kemampuannya hanya 2 x 35 MW.

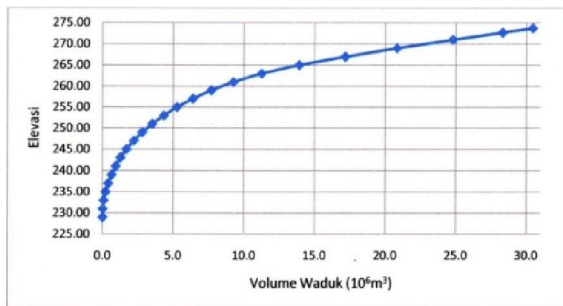


Gambar 6. Ilustrasi Terowong Penghubung Waduk Lahor – Sutami (Sumber: Data Manual O&P PJT 1)



Gambar 7. Skema Long Section Bendungan Lahor

(Sumber: Data Manual O&P PJT 1)



Gambar 8. Kurva Kapasitas Tampung Waduk Lahor

(Sumber: BPDFL Perum Jasa Tirta 1)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hujan harian yang ada selanjutnya dicari nilai hujan harian maksimum bulanan dan tahunan di masing-masing titik tinjau. Dari nilai tersebut selanjutnya dihitung nilai hujan PMP dan hujan rancangan pada kala ulang 1000 tahun dengan metode gumbel tipe 1 sebagai pembandingan.

4.1. Hujan Rancangan

Berikut ini merupakan hasil perhitungan PMP dan hujan rancangan tahunan maupun bulanan disajikan pada tabel 2 dan tabel 3.

Perhitungan hidrograf satuan sintetik metode nakayasu dilakukan dengan titik tinjau Bendungan Sengguruh, Remaining Basin Sutami, dan Bendungan Lahor. Berikut ini merupakan hasil analisa hidrograf satuan disajikan pada gambar 9, 10 dan 11.

Tabel 2. Rekapitulasi Hujan Rancangan Kala Ulang 1000

Bulan	Curah Hujan Rancangan (mm/hari)		
	B Sg	RB St	B Lh
Tahunan	206.58	269.43	305.66
Januari	108.07	164.29	198.58
Februari	117.70	113.50	143.32
Maret	199.57	228.10	265.57
April	128.57	195.96	208.30
Mei	88.92	93.07	120.06
Juni	116.70	95.02	87.28
Juli	70.09	65.76	79.38
Agustus	75.59	85.36	95.74
September	101.59	109.31	125.19
Oktober	102.37	144.49	181.08
Nopember	178.14	275.72	322.66
Desember	227.13	229.81	250.35

Keterangan :

B Sg = Hujan DAS Bend. Sengguruh

RB St = Hujan Remaining Basin Sutami

B Lh = Hujan DAS Bend. Lahor

Sumber: Perhitungan

Tabel 3. Rekapitulasi Hujan Rancangan Maksimum Yang Mungkin Terjadi, PMP

Bulan	Curah Hujan Rancangan (mm/hari)		
	B Sg	RB St	B Lh
Tahunan	392.72	607.11	710.35
Januari	192.59	388.67	413.61
Februari	266.53	283.99	334.00
Maret	394.11	489.56	526.17
April	302.87	464.15	447.76
Mei	267.67	261.75	351.29
Juni	383.94	228.42	284.35
Juli	199.44	210.40	260.63
Agustus	221.97	238.19	302.59
September	297.86	322.17	393.69
Oktober	314.03	403.38	494.72
Nopember	358.62	641.31	786.56
Desember	507.66	546.05	619.61

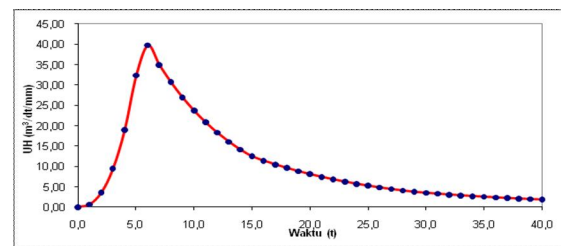
Keterangan :

B Sg = Hujan DAS Bend. Sengguruh

RB St = Hujan Remaining Basin Sutami

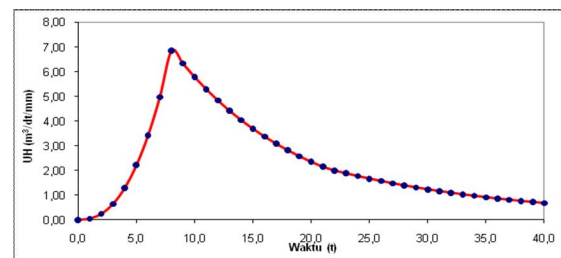
B Lh = Hujan DAS Bend. Lahor

Sumber: Perhitungan



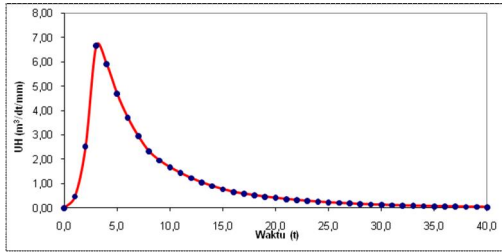
Gambar 9. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu DAW Bendungan Sengguruh

Sumber: Perhitungan



Gambar 10. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Remaining Basin Sutami

Sumber: Perhitungan



Gambar 11. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu DAW Bendungan Lahor
Sumber: Perhitungan

Besarnya nilai koefisien pengaliran merupakan fungsi dari intensitas hujan, berikut ini merupakan hasil analisa koefisien pengaliran

Tabel 4. Rekapitulasi Koefisien Pengaliran

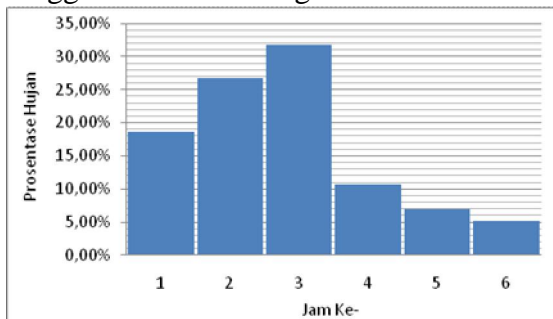
Bulan	Kala Ulang 1000 tahun			PMP		
	B Sg	RB St	B Lh	B Sg	RB St	B Lh
Tahunan	0.61	0.66	0.68	0.71	0.77	0.79
Januari	0.46	0.56	0.60	0.59	0.71	0.72
Februari	0.48	0.47	0.53	0.65	0.66	0.69
Maret	0.60	0.63	0.65	0.72	0.74	0.75
April	0.50	0.60	0.61	0.68	0.74	0.73
Mei	0.40	0.41	0.48	0.65	0.65	0.70
Juni	0.48	0.42	0.40	0.71	0.63	0.66
Juli	0.33	0.30	0.37	0.60	0.61	0.65
Agustus	0.35	0.39	0.42	0.62	0.63	0.68
September	0.44	0.46	0.50	0.67	0.69	0.72
Oktober	0.44	0.53	0.58	0.68	0.72	0.75
November	0.58	0.66	0.69	0.70	0.78	0.80
Desember	0.63	0.63	0.64	0.75	0.76	0.77

Keterangan :

- B Sg = Hujan DAS Bend. Sengguruh
- RB St = Hujan Remaining Basin. Sutami
- B Lh = Hujan DAS Bend. Lahor

Sumber: Perhitungan

Distribusi hujan jam-jaman yang digunakan adalah berdasarkan data hujan maksimum rata-rata yang tercatat pada stasiun hujan otomatis (Automatic Rainfall recorder, ARR) di Stasiun Hujan Sengguruh adalah sebagai berikut :



Gambar 12. Grafik Distribusi Hujan Jam-jaman

(Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)

Dengan menggunakan data distribusi hujan jam-jaman dan koefisien pengaliran tersebut kemudian dilakukan perhitungan hujan netto jam-jaman pada titik tinjau.

Aliran dasar diperoleh dari data pengukuran yang dilakukan pada masing-masing titik tinjau.

Tabel 5. Debit Aliran Dasar

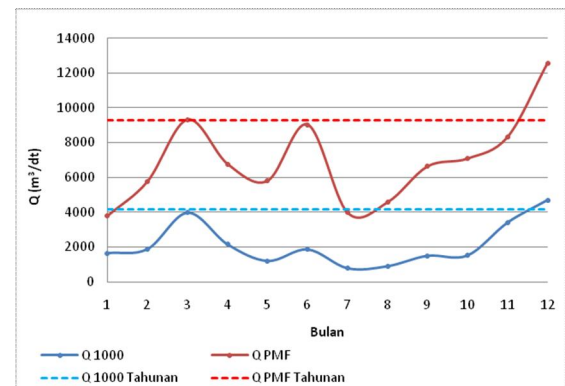
Titik Tinjau	Debit
DAW Bendungan Sengguruh	20.97 m ³ /dt
Remaining Basin Sutami	19.83 m ³ /dt
DAW Bendungan Lahor	3.28 m ³ /dt

Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1

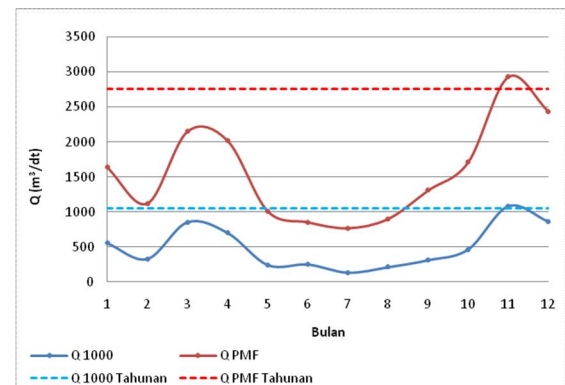
Hidrograf debit banjir rancangan dihitung dengan menggunakan prinsip linieritas perkalian antara ordinat hidrograf satuan dengan hujan netto, kemudian dan hasil perkalian untuk tiap kejadian hujan dijumlahkan secara superposisi dan hasil akhirnya ditambah aliran dasar.

4.2. Debit Banjir Rancangan

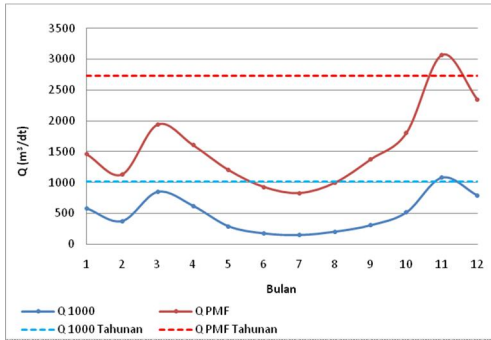
Berikut ini merupakan hasil perhitungan debit banjir rancangan Q_{1000} th dan Q_{PMF} tahunan maupun bulanan:



Gambar 13. Debit banjir rancangan maksimum tahunan dan bulanan DAW B.Sengguruh (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)

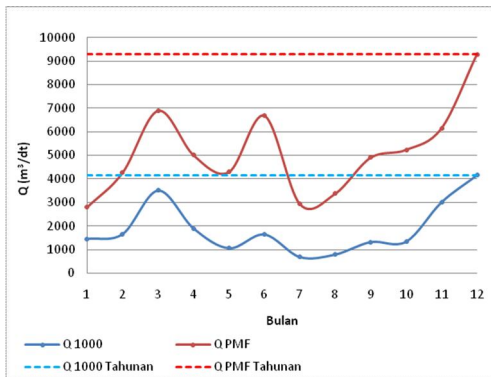


Gambar 14. Debit banjir rancangan maksimum tahunan dan bulanan RB.Sutami (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)

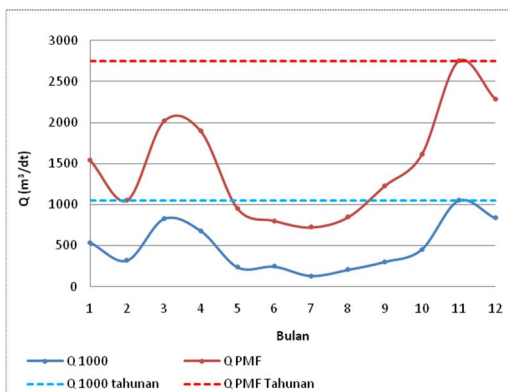


Gambar 15. Debit banjir rancangan maksimum tahunan dan bulanan DAW B.Sengguruh (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)

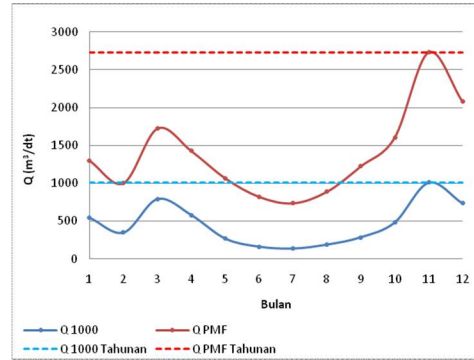
Dengan pertimbangan bahwa, nilai debit banjir maksimum sebagai referensi perhitungan adalah debit banjir maksimum tahunan, maka debit banjir maksimum bulanan perlu dikoreksi berdasarkan nilai debit banjir maksimum tahunan dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 16. Debit banjir rancangan maksimum bulanan terkoreksi DAW B.Sengguruh (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)



Gambar 17. Debit banjir rancangan maksimum tahunan dan bulanan terkoreksi RB.Sutami (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)



Gambar 18. Debit banjir rancangan maksimum tahunan dan bulanan terkoreksi DAW B.Lahor (Sumber: BPD L Perum Jasa Tirta 1)

4.3. Penelusuran Banjir

Nilai debit banjir rancangan Bendungan Sengguruh selanjutnya dilakukan perhitungan penelusuran banjir pada Q_{1000} maupun Q_{PMF} sehingga didapatkan nilai outflow dari Bendungan Sengguruh (dari spillway & turbin). Nilai outflow dari Bendungan Sengguruh selanjutnya dijadikan nilai inflow debit banjir untuk perhitungan penelusuran banjir di sungai (Sengguruh-Sutami) Nilai outflow dari penelusuran banjir di sungai kemudian disuperposisi dengan debit banjir Remaining Basin Sutami sehingga didapatkan nilai Inflow debit banjir di Bendungan Sutami.

Nilai debit banjir rancangan Bendungan Lahor selanjutnya dilakukan perhitungan penelusuran banjir di Bendungan Lahor sehingga didapatkan nilai outflow debit banjir dari Bendungan Lahor.

Dari nilai Inflow Bendungan Sutami kemudian dilakukan penelusuran banjir di waduk Bendungan Sutami dengan mempertimbangkan debit yang masuk/keluar terowongan penghubung Waduk Sutami - Lahor dan turbin Bendungan Sutami. Pada saat penelusuran banjir tersebut juga dipertimbangkan elevasi muka air pada debit banjir PMF sehingga tampungan Waduk Sutami dan Lahor masih dapat mereduksi banjir yang terjadi.

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan debit banjir dan penelusuran banjir untuk setiap bulan.

Tabel 6. Rekapitulasi Debit Banjir Maksimum Inflow dan Outflow Q₁₀₀₀th dan Elevasi Muka Air Waduk Pada Tiap Lokasi Titik Tinjau (Titik Kontrol)

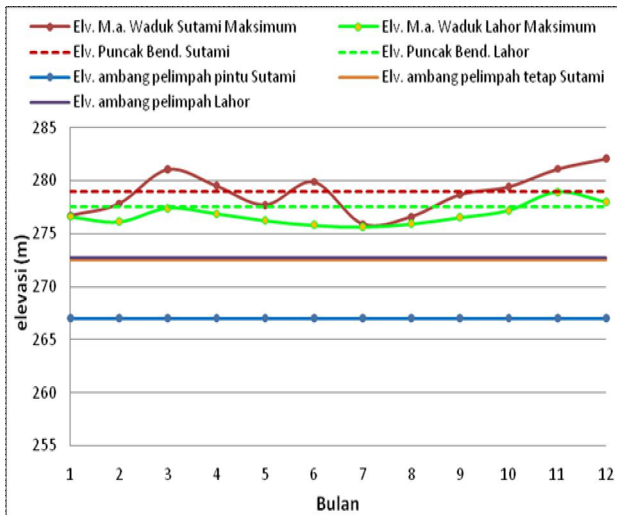
No.	Uraian	Tahunan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
A Debit Inflow Maksimum (m³/det)														
1	Inflow Bendungan Sengguruh	4,155.96	1,457.74	1,663.77	3,508.62	1,899.65	1,059.08	1,642.21	684.57	791.80	1,321.12	1,337.42	3,012.92	4,155.96
2	Outflow Routing Bendungan Sengguruh	4,106.81	1,457.73	1,663.91	3,403.97	1,899.39	1,058.71	1,642.63	634.55	791.79	1,322.13	1,338.44	2,965.57	4,106.81
3	Outflow Routing Sungai Sengguruh - Sutami	3,982.07	1,408.74	1,607.70	3,344.20	1,835.25	1,023.63	1,586.92	613.67	765.56	1,277.03	1,292.78	2,894.06	3,982.07
4	Inflow R.B. Sutami	1,051.22	540.74	322.10	829.33	682.49	238.47	246.32	132.89	207.83	304.68	454.02	1,051.22	837.20
5	Inflow Bendungan Sutami	5,033.29	1,926.69	1,904.19	4,173.53	2,489.64	1,245.38	1,807.98	783.91	960.66	1,560.31	1,725.13	3,945.27	4,819.27
6	Inflow Bendungan Lahor	1,011.42	545.53	348.26	794.09	581.06	268.34	160.52	135.66	187.68	285.77	482.11	1,011.42	736.96
B Debit Outflow Maksimum (m³/det) -Penelusuran Banjir Normatif														
1	Outflow Routing Bendungan Sutami	2,769.50	1,097.45	1,052.89	2,272.58	1,364.59	382.12	925.50	272.99	313.66	651.57	862.92	2,126.10	2,635.80
2	Outflow Routing Bendungan Lahor	466.34	309.59	249.81	391.67	322.06	194.35	126.73	115.15	143.29	206.32	293.20	466.34	372.50
3	Reduksi puncak banjir B.Sutami	2,263.79	829.24	851.30	1,900.95	1,125.05	863.27	882.48	510.92	647.00	908.74	862.20	1,819.17	2,183.47
4	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Sutami	45.0%	43.0%	44.7%	45.5%	45.2%	69.3%	48.8%	65.2%	67.3%	58.2%	50.0%	46.1%	45.3%
5	Reduksi puncak banjir B.Lahor	545.08	235.95	98.45	402.43	258.99	73.99	33.79	20.51	44.39	79.45	188.91	545.08	364.45
6	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Lahor	53.9%	43.3%	28.3%	50.7%	44.6%	27.6%	21.0%	15.1%	23.7%	27.8%	39.2%	53.9%	49.5%
C Elev.Muka Air Waduk Maksimum (m)-Penelusuran Banjir Normatif														
1	Waduk Sutami	278.51	275.00	274.88	277.59	275.67	271.86	274.53	270.12	270.81	273.65	274.35	277.31	278.27
2	Waduk Lahor	276.12	275.27	274.92	275.73	275.34	274.58	274.11	274.03	274.23	274.66	275.17	278.91	275.63
D Tinggi Jagaan tersisa (m) - Penelusuran Banjir Normatif														
1	Waduk Sutami	0.49	4.00	4.12	1.41	3.33	7.14	4.47	8.88	8.19	5.35	4.65	1.69	0.73
2	Waduk Lahor	1.38	2.23	2.58	1.77	2.16	2.92	3.39	3.47	3.27	2.84	2.33	(1.41)	1.87

Sumber : Hasil perhitungan

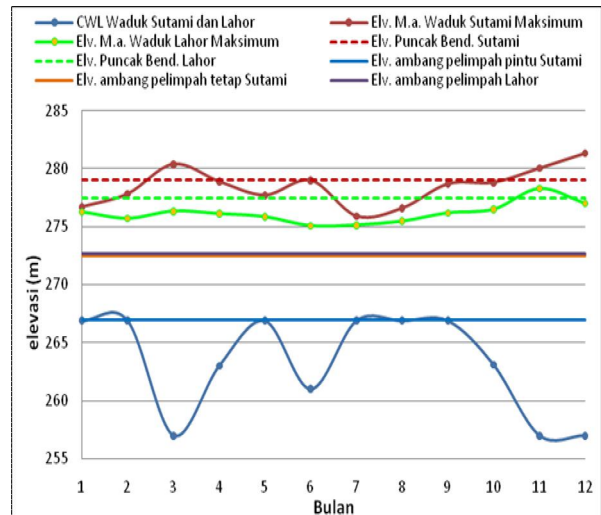
Tabel 7. Rekapitulasi Debit Banjir Maksimum Inflow dan Outflow Q_{PMF} dan Elevasi Muka Air Waduk Pada Tiap Lokasi Titik Tinjau (Titik Kontrol)

No.	Uraian	Tahunan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nop	Des
A Debit Inflow Maksimum (m³/det)														
1	Inflow Bendungan Sengguruh	9,280.44	2,800.53	4,263.88	6,884.59	5,000.32	4,286.77	6,672.60	2,933.70	3,375.48	4,898.31	5,228.38	6,146.41	9,280.44
2	Outflow Routing Bendungan Sengguruh	9,180.20	2,754.86	4,193.87	6,833.68	5,209.81	4,234.89	6,615.21	2,890.60	3,292.89	5,090.64	5,415.98	6,044.18	9,180.20
3	Outflow Routing Sungai Sengguruh - Sutami	8,899.57	2,694.66	4,079.75	6,608.54	4,838.65	4,098.65	6,403.64	2,821.46	3,236.53	4,733.71	5,056.60	5,883.05	8,899.57
4	Inflow R.B. Sutami	2,751.01	1,539.84	1,054.68	2,018.20	1,896.94	953.60	803.90	723.95	847.53	1,229.98	1,609.02	2,751.01	2,289.42
5	Inflow Bendungan Sutami	11,629.14	4,234.50	5,134.42	8,626.75	6,634.71	5,052.26	7,207.54	3,545.40	4,084.06	5,874.83	6,564.95	8,634.06	11,167.55
6	Inflow Bendungan Lahor	2,731.00	1,300.47	1,005.36	1,725.50	1,428.59	1,068.98	824.41	739.01	890.52	1,226.12	1,605.97	2,731.00	2,083.34
B Debit Outflow Maksimum (m³/det) - Penelusuran Banjir Normatif														
1	Outflow Routing Bendungan Sutami	10,813.08	1,887.59	2,475.33	6,491.76	3,463.24	2,414.80	3,692.77	1,516.39	1,832.81	2,956.36	3,401.66	6,581.65	10,567.03
2	Outflow Routing Bendungan Lahor	1,406.38	580.00	478.56	766.81	644.30	501.95	412.42	381.97	436.31	562.78	716.07	1,406.38	917.61
3	Reduksi puncak banjir B.Sutami	816.06	2,346.91	2,659.10	2,134.99	3,171.47	2,637.46	3,514.77	2,029.01	2,251.25	2,918.47	3,163.29	2,052.41	600.53
4	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Sutami	7.0%	55.4%	51.8%	24.7%	47.8%	52.2%	48.8%	57.2%	55.1%	49.7%	48.2%	23.8%	5.4%
5	Reduksi puncak banjir B.Lahor	1,324.61	720.47	526.79	958.69	784.28	567.03	411.99	357.05	454.22	663.34	889.90	1,324.61	1,165.73
6	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Lahor	48.5%	55.4%	52.4%	55.6%	54.9%	53.0%	50.0%	48.3%	51.0%	54.1%	55.4%	48.5%	56.0%
C Elev. Muka Air Waduk Maksimum (m) - Penelusuran Banjir Normatif														
1	Waduk Sutami	282.15	276.69	277.82	281.08	279.52	277.71	279.89	275.90	276.57	278.68	279.42	281.11	282.09
2	Waduk Lahor	278.91	276.60	276.13	277.40	276.89	276.24	275.81	275.65	275.93	276.53	277.19	278.91	278.01
D Tinggi Jagaan tersisa (m) - Penelusuran Banjir Normatif														
1	Waduk Sutami	(3.15)	2.31	1.18	(2.08)	(0.52)	1.29	(0.89)	3.10	2.43	0.32	(0.42)	(2.11)	(3.09)
2	Waduk Lahor	(1.41)	0.90	1.37	0.10	0.61	1.26	1.69	1.85	1.57	0.97	0.31	(1.41)	(0.51)
E Elev. Control Water Level, CWL														
1	Waduk Sutami	257.00	266.90	266.90	257.00	263.00	266.90	261.00	266.90	266.90	266.90	263.10	257.00	257.00
2	Waduk Lahor	257.00	266.90	266.90	257.00	263.00	266.90	261.00	266.90	266.90	266.90	263.10	257.00	257.00
F Debit Outflow Maksimum (m³/det) - Penelusuran Banjir dengan penerapan CWL														
1	Outflow Routing Bendungan Sutami	7,935.38	1,887.59	2,475.33	4,502.93	3,081.50	2,414.80	3,139.13	1,516.39	1,832.81	2,956.36	3,032.32	3,813.94	7,369.88
2	Outflow Routing Bendungan Lahor	996.53	507.92	392.58	522.44	474.88	419.93	272.70	284.75	344.61	489.06	555.99	996.53	682.06
3	Reduksi puncak banjir B.Sutami	3,693.76	2,346.91	2,659.10	4,123.81	3,553.21	2,637.46	4,068.41	2,029.01	2,251.25	2,918.47	3,532.62	4,820.13	3,797.68
4	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Sutami	31.8%	0.55	0.52	0.48	0.54	0.52	0.56	0.57	0.55	0.50	0.54	0.56	0.34
5	Reduksi puncak banjir B.Lahor	1,734.47	792.55	612.77	1,203.06	953.70	649.05	551.71	454.26	545.91	737.07	1,049.98	1,734.47	1,401.28
6	Prosentase Reduksi puncak banjir B.Lahor	63.5%	0.61	0.61	0.70	0.67	0.61	0.67	0.61	0.61	0.60	0.65	0.64	0.67
G Elev. Muka Air Waduk Maksimum (m) - Penelusuran Banjir dengan penerapan CWL														
1	Waduk Sutami	281.48	276.69	277.82	280.39	278.89	277.71	278.99	275.90	276.57	278.68	278.81	280.03	281.32
2	Waduk Lahor	278.31	276.27	275.71	276.34	276.11	275.85	275.06	275.13	275.46	276.18	276.49	278.31	277.05
G Tinggi Jagaan tersisa (m) - Penelusuran Banjir dengan penerapan CWL														
1	Waduk Sutami	(2.48)	2.31	1.18	(1.39)	0.11	1.29	0.01	3.10	2.43	0.32	0.19	(1.03)	(2.32)
2	Waduk Lahor	(0.81)	1.23	1.79	1.16	1.39	1.65	2.44	2.37	2.04	1.32	1.01	(0.81)	0.45

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 19. Elevasi Muka Air Waduk Untuk Q_{PMF} – Normatif (Sumber: Perhitungan)



Gambar 20. Pengaruh CWL Terhadap Elevasi Muka Air Waduk Untuk Q_{PMF} (Sumber: Perhitungan)

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

- 1). Secara hidrologi debit banjir PMF tahunan yang berpotensi terjadi pada Bendungan Sutami nilainya sangat besar yaitu $11.629,14 \text{ m}^3/\text{dt}$, dimana nilai Q_{PMF} ini setara dengan $2,31 \times Q_{1000 \text{ th}}$ dan dengan adanya dinding parapet setinggi 1 m dan manajemen CWL pada elevasi antara + 257,00 m sampai dengan + 267,00 m masih berpotensi terjadi *overtopping* sebanyak 3 kali kejadian dengan tinggi air di atas parapet 2,09 m atau 3,09 di atas elevasi puncak bendungan.
- 2). Secara hidrologi debit banjir PMF tahunan yang berpotensi terjadi pada Bendungan Lahor nilainya sangat besar yaitu $2.731,00 \text{ m}^3/\text{det}$, dimana nilai Q_{PMF} ini setara dengan $2,70 \times Q_{1000 \text{ th}}$ dan dengan adanya dinding parapet setinggi 1 m dan dengan manajemen CWL pada elevasi antara +257,00 m sampai dengan + 267,00 m sudah tidak berpotensi terjadi *overtopping*.

5.2. Saran

- 1). Agar diperoleh keamanan yang cukup baik pada Bendungan Sutami dan Lahor terhadap kemungkinan

potensi terjadinya *overtopping* akibat banjir PMF pada musim hujan, maka dalam operasi waduk Sutarni dan Lahor perlu mempertimbangkan penerapan nilai CWL pada elevasi antara + 257,00 m sampai dengan + 267,00 m.

- 2). Untuk mengantisipasi kemungkinan potensi terjadinya *overtopping*, secara struktural perlu dilakukan studi alternatif pembuatan pelimpah darurat (*emergency spillway*) pada Bendungan Sutami.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1976. *Cara Menghitung Design Flood*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. 1986. *Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi, Bagian Penunjang Untuk Standar Perencanaan Irigasi*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Chow, Ven Te. 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Creager, William P., Justin, Joel D., Hinds, Julian, Chand, Nem & Bros. 1995. *Engineering For Dams*. New Delhi: Rorkee.

- French, Richard H. 1986. *Open Channel Hydraulics*, International Student Edition. Tokyo: Mc Graw Hill.
- Hersfield, D.M., 1961. *Estimating the probable maximum precipitation. Amerika: American Civil Society of Civil Engineers*, Journal Hydraulics Division, vol 87.
- Hersfield, D.M., 1965. *Method For Estimating the probable maximum precipitation. Amerika: Journal American Waterwork Association*, vol 3.
- Huff, F. A., 1967: *Time Distribution of Rainfall In Heavy Storm. Water Resources Research*, American Geographical Union, Vol 3.
- Kumar, Santosh G. 2001. *Irrigation Engineering and Hydraulic Structure*. New Delhi: Khanna Publisher.
- Linsley, Ray K., Kohler, Max A. & Paulus, Joseph L.H. 1983. *Hydrology for Engineers Third Edition*. Tokyo: Mc Graw Hill.
- McKay, G. A., 1965: *Statistical Estimating of Precipitation Extremes For The Prioie Provinces*. Canada Department of Agliculture, PFRA Engineering Brach.
- Novak,P.,
A.I.B.Mofffat,C.Nalluri,R.Narayana n. 1990. *Hydraulic Structures*, First published. London : UNWIN HYMAN.
- Raudkivi, Arved J. 1979. *Hydrology, An Advanced Introduction to Hydrological Processes and Mosdelling*. New York: Pergamon Press.
- Sosrodarsono, S., Takeda, K., 1976. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Suyono & Takeda, Kensaku. 1977. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Shahin, M.M.A. 1976. *Statistical Analysis in Hydrology, International Courses in Hydraulic and Sanitary Engineering*. Delft Netherlands
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: Nova.
- Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional Jilid ke-1*. Bandung: Citra Aditya Bakti.
- Sabar, Husni. 2000. *Waduk dan Tenaga Air*. Bandung: Teknik Sipil dan Lingkungan ITB.
- Suripin. 2003. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- United States Departement of The Interior Bureau of Reclamation (USBR). 1974. *Design of Small Dams*. New Delhi: A Water Resources Technical Publication, Oxford & IBH Publishing Co.
- Varshney, R.S., Chand, Nem & Bros. 1978. *Engineering Hydrology*. New Delhi: Rorkee
- Viessman,Warren Jr., Gary L.Lewis. 1995. *Introduction to Hydrology*. Fourth edition. Addison Wesley Longman. United States of Amarica.
- Weiss L. L., 1964. *Ratio of True To Fixed – Interval Maximum Rainfall. Amerika: American Civil Society of Civil Engineers, Journal Hydraulics Division*, vol 90.