

Analisis Hidrologi dan Hidraulika pada Bangunan Pelimpah (Studi Kasus: Bangunan Pelimpah Bendungan Tugu)

L.L. Rizki*

^aDepartemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

* Corresponding author's e-mail: lailarizki25@gmail.com

Received: 31 May 2021; revised: 5 August 2021; accepted: 7 August 2021

Abstract: Hydraulic design for spillway is a fundamental part of dam design. This research aims to conduct flow simulation at spillway of Tugu Dam using HEC-RAS program. Thus, simulation later is compared to Detailed Engineering Design. This simulation is carried out as the basis for analyzing the ability of the Tugu Dam spillway to flow the outflow discharge using the HEC-HMS program. The HEC-RAS simulation results show that the Tugu Dam spillway is able to drain DED outflow discharge but there is still runoff at the end of the channel. The HEC-HMS simulation provides the design flood discharge values for Q_{1000} and Q_{PMF} are $820 \text{ m}^3/\text{s}$ and $1161.2 \text{ m}^3/\text{s}$, respectively. This result is higher than the DED design flood discharge of $670.95 \text{ m}^3/\text{s}$ for Q_{1000} and $928.44 \text{ m}^3/\text{s}$ for Q_{PMF} . Thus, changes were made to the spillway width to 45 m, the channel width to 40 m, and to raise the embankment +2 m in the lead channel and the end channel. The results of the flow simulation in the spillway with a modified design using HEC-RAS shows that there is no overtopping in the spillway. These indicate the spillway is able to flow the HEC-HMS design flood discharge properly.

Keywords: *spillway, tugu dam, design flood discharge, HEC-HMS, HEC-RAS.*

Abstrak: Perencanaan desain hidraulik bangunan pelimpah merupakan bagian yang penting dalam desain bendungan terutama bendungan urugan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi aliran pada bangunan pelimpah Bendungan Tugu menggunakan bantuan program HEC-RAS kemudian membandingkannya dengan *Detailed Engineering Design* (DED). Simulasi ini dilakukan sebagai dasar untuk menganalisis kemampuan bangunan pelimpah Bendungan Tugu dalam mengalirkan debit *outflow* yang dihitung menggunakan program HEC-HMS. Hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan bahwa pelimpah Bendungan Tugu mampu mengalirkan debit *outflow* perencanaan dengan baik namun masih terjadi limpasan pada saluran akhir. Simulasi HEC-HMS memberikan nilai debit banjir rancangan untuk Q_{1000} dan Q_{PMF} masing-masing adalah $820 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $1161,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Hasil ini lebih tinggi dari debit banjir rancangan perencanaan $670,95 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk Q_{1000} dan $928,44 \text{ m}^3/\text{s}$ untuk Q_{PMF} . Sehingga, dilakukan perubahan pada lebar pelimpah menjadi 45 m, lebar saluran menjadi 40 m, serta meninggikan tanggul +2 m pada saluran pengarah serta saluran akhir. Hasil simulasi aliran pada bangunan pelimpah dengan desain yang telah dimodifikasi menggunakan HEC-RAS menunjukkan bahwa tidak terjadi limpasan pada pelimpah, sehingga fungsi bangunan pelimpah dapat berjalan dengan baik.

Kata kunci: *pelimpah, Bendungan Tugu, debit banjir rancangan, HEC-HMS, HEC-RAS*

1. Pendahuluan

Penyebab utama kerusakan dan kegagalan bendungan, terutama bendungan urugan adalah *overtopping*. *Overtopping* merupakan peristiwa meluapnya air waduk melalui puncak bendungan yang terjadi karena banjir besar melebihi kapasitas dan gelombang tinggi melampaui puncak bendungan yang diakibatkan gempa tektonik atau kelongsoran pada dinding waduk [1]. Tingkat frekuensi kerusakan bendungan yang disebabkan oleh *overtopping* mencapai 30%, lebih tinggi dari faktor-faktor penyebab lainnya [2]. Sedangkan menurut [3] sepertiga atau lebih kegagalan bendungan disebabkan oleh *overtopping*.

Salah satu cara mengatasi agar tidak terjadi *overtopping* pada bendungan adalah mengalirkan banjir yang terjadi ke bangunan pelimpah. Tujuan utama pembangunan bangunan pelimpah adalah untuk mengalirkan debit banjir dengan kala ulang tertentu agar tidak terjadi *overtopping* pada bendungan. Sehingga, bangunan pelimpah perlu direncanakan dengan baik agar bendungan tidak mengalami limpasan sekaligus mampu mengalirkan debit banjir abnormal (Q_{PMF}).

Debit banjir rancangan merupakan dasar perencanaan pelimpah. Debit ini sangat menentukan dimensi, kemiringan, dan bentuk pelimpah. Analisis hidrologi untuk menghitung debit banjir rancangan dapat dibantu oleh suatu program yaitu HEC-HMS. HEC-HMS adalah program *open-source* yang berfungsi untuk menganalisis suatu tampungan atau daerah aliran sungai (DAS) dan data meteorologi dengan debit sebagai hasilnya [4]. Debit banjir rancangan inilah yang menjadi Q_{inflow} pada perhitungan penelusuran banjir.

Setelah penelusuran banjir dihitung, mengetahui profil muka air, kedalaman aliran, serta kondisi aliran pada saluran pelimpah adalah beberapa hal yang harus diperhatikan. Apabila desain saluran pelimpah tidak cukup memadai dalam mengalirkan debit banjir rancangan maka dapat menyebabkan aliran akan melimpas. Limpasan ini berbahaya bagi bangunan pelimpah itu sendiri serta bendungan utama. Pada penelitian ini, program HEC-RAS digunakan untuk melakukan simulasi 1D aliran pada pelimpah. HEC-RAS juga merupakan program *open-source* yang berfungsi untuk mendapatkan profil aliran yang menerus mulai dari awal sampai akhir pelimpah.

Bendungan Tugu termasuk dalam bendungan urugan yang terletak di Kabupaten Trenggalek, Propinsi Jawa Timur, Indonesia. Bendungan ini memiliki beberapa fungsi yaitu pengendalian banjir dari Sungai Keser, pemenuhan air irigasi, serta penyediaan air baku. Pengendalian banjir ini dilakukan untuk mengurangi kejadian banjir yang sering terjadi di Kota Trenggalek. Tipe pelimpah pada bendungan ini adalah pelimpah samping. Pelimpah ini terletak pada sisi kanan bendungan utama. Pelimpah samping dipilih karena topografi yang tidak memungkinkan dibangun pelimpah lurus.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi aliran pada bangunan pelimpah Bendungan Tugu menggunakan program HEC-RAS, menganalisis kemampuan bangunan pelimpah tersebut dalam mengalirkan debit banjir rancangan dan membandingkan perubahan desain dengan *Detailed Engineering Desain* (DED) bangunan pelimpah Bendungan Tugu.

2. Metode Penelitian

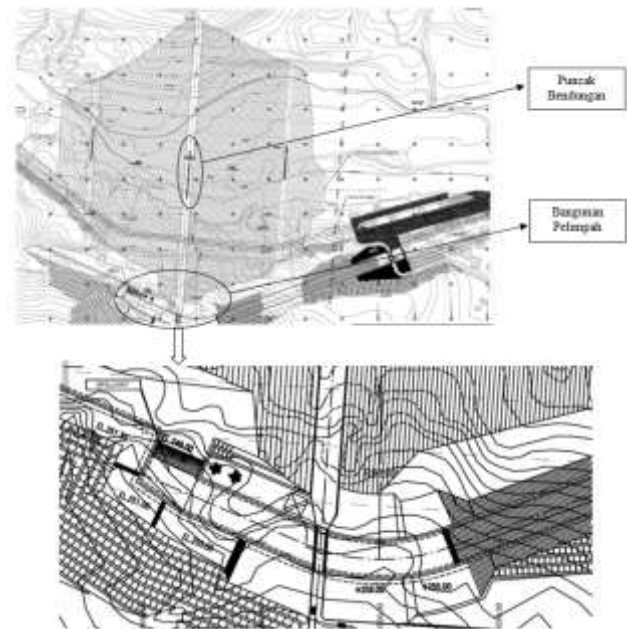
Untuk melakukan simulasi aliran pada HEC-RAS diperlukan data geometri serta data debit banjir rancangan. Data geometri saluran pelimpah diperoleh dari DED pelimpah Bendungan Tugu yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Brantas. Data debit banjir rancangan dihitung menggunakan program HEC-HMS dengan panjang data hujan 34 tahun. Debit banjir rancangan yang digunakan untuk penelitian ini adalah Q_{1000} dan Q_{PMF} . Berikut adalah langkah-langkah yang diperlukan dalam penelitian ini.

- Menghitung debit banjir rancangan dengan HEC-HMS.
- Menghitung debit *outflow* dari penelusuran banjir untuk menentukan lebar pelimpah dengan HEC-HMS.
- Membuat simulasi aliran dengan HEC-RAS untuk data geometri saluran pelimpah dari DED dan data debit *outflow* perencana. Data geometri perencanaan pelimpah ini didapatkan dari DED. Data geometri yang digunakan berupa potongan melintang saluran, bendung pelimpah, elevasi saluran, dan alur saluran.
- Menganalisis kemampuan bangunan pelimpah tersebut dalam mengalirkan debit banjir *outflow* perencana. Interpretasi data dilakukan setelah hasil simulasi HEC-RAS didapatkan. Profil muka air, kecepatan aliran, keadaan aliran, serta ada tidaknya limpasan pada tanggul saluran menjadi faktor-faktor yang menentukan untuk menganalisis kemampuan pelimpah mengalirkan debit banjir rancangan.
- Mengubah dimensi saluran pelimpah. Apabila hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan adanya limpasan pada pelimpah saat debit banjir dialirkan maka perlu adanya perubahan desain pelimpah. Perubahan ini bisa berupa perubahan dimensi, kemiringan saluran, serta meninggikan tanggul.
- Hasil desain yang telah diubah kemudian disimulasikan kembali menggunakan HEC-RAS untuk menganalisis kemampuan bangunan pelimpah.
- Membandingkan hasil desain dengan DED

2.1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Bendungan Tugu di Desa Nglingsis Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek Jawa

Timur. Bendungan Tugu terletak di Sungai Keser merupakan salah satu anak Sungai Ngrowo. Gambar 1 menunjukkan bendungan utama serta bangunan pelimpah yang terletak di sisi kanan bendungan. Tabel 1 menunjukkan data teknis bangunan pelimpah Bendungan Tugu. Data teknis ini diperoleh dari BBWS Brantas. Tipe pelimpah Bendungan Tugu adalah pelimpah samping tanpa pintu.



Gambar 1. Lokasi Studi Kasus

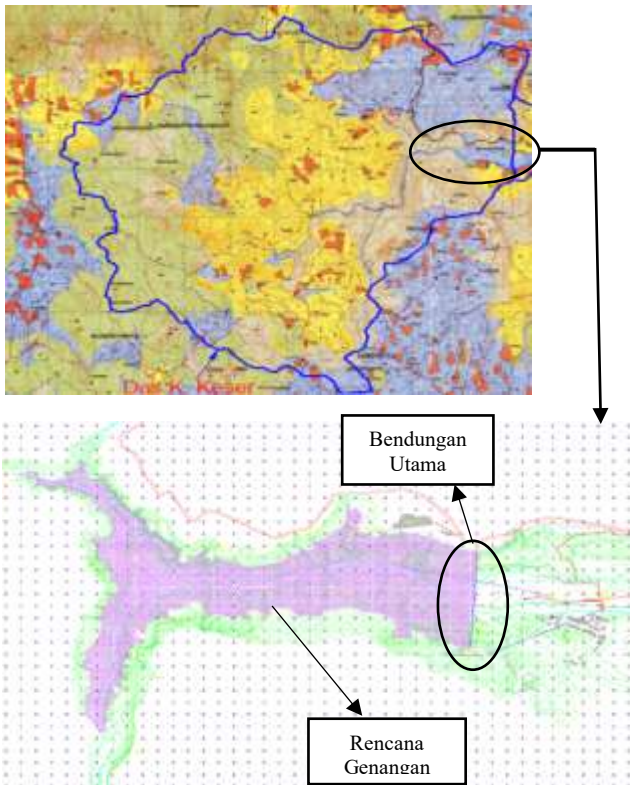
Tabel 1. Data teknis bangunan pelimpah Bendungan Tugu

No	Keterangan	Pelimpah Utama
1	Tipe Pelimpah	Pelimpah samping tanpa pintu
2	Elevasi pelimpah	El. 251
3	Lebar ambang	22 m
4	Elevasi saluran pengarah	El. 249
5	Lebar saluran transisi	16 m
6	Panjang saluran transisi	115 m
7	Lebar saluran peluncur	16 m
8	Panjang saluran peluncur	235,75 m
9	Lebar peredam energi	16 m
10	Panjang peredam energi	40 m
11	Elevasi peredam energi	El. 164

2.2. Penelusuran Banjir dengan HEC-HMS

HEC-HMS telah banyak digunakan dalam analisis hidrologi. Model HEC-HMS dapat memberikan simulasi hidrologi dari puncak aliran harian untuk perhitungan debit banjir rancangan dari suatu DAS [5]. HEC-HMS dapat mensimulasikan transformasi hujan menjadi aliran pada suatu kawasan atau Daerah Aliran Sungai (DAS). Beberapa penelitian sebelumnya juga telah membuktikan bahwa HEC-HMS dapat digunakan untuk menganalisis debit banjir pada daerah-daerah yang berbeda serta iklim yang berbeda. Data yang diperlukan untuk melakukan simulasi hujan-aliran di HEC-HMS adalah hujan, abstraksi, metode *transform*, serta aliran dasar. Bendungan Tugu terletak pada hilir DAS Keser (Gambar 2). Tipe bendungan ini adalah

urugan batu dengan inti tegak dengantinggi bendungan utama dan panjang puncak total masing-masing adalah 89,85 m dan 475 m.



Gambar 2. DAS Keser dan Rencana Genangan (Sumber: BBWS Brantas)

1) Hujan

Hujan (*precipitation*) model merupakan masukan pada sistem DAS. Dua komponen utama hujan yang digunakan untuk transformasi hujan menjadi aliran adalah kedalaman dan pola agihan/distribusi hujan. Distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode *Alternating Block Method* (ABM). Durasi hujan diasumsikan 5 jam dengan waktu konsentrasi 1 jam. Waktu konsentrasi merupakan parameter penting dalam analisis hujan rencana [6].

2) Loss

Loss models untuk menghitung volume *runoff* (hujan efektif). *Loss models* digunakan untuk menentukan hujan efektif. Pada penelitian ini menggunakan metode SCS-CN. Metode abstraksi atau *loss* yang digunakan adalah *Curve Number* (CN). *Curve Number* merupakan fungsi dari karakteristik DAS seperti tipe tanah, tanaman penutup, tata guna lahan, kelembaban dan cara pengerjaan tanah (Triatmodjo, 2016). Nilai CN berkisar antara 0-100. Semakin besar nilai CN semakin kecil nilai abstraksi. Apabila nilai CN=100 maka keseluruhan hujan menjadi limpasan. Pada DAS dengan beberapa jenis tanah dan penggunaan lahan, CN komposit dapat dihitung menurut Persamaan (1) [7].

$$CN_{komposit} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

CN adalah *Curve Number* dan A adalah luas lahan.

3) Transform

Transform model untuk mentransformasikan hujan efektif yang merupakan selisih antara besarnya hujan dengan kehilangan menjadi aliran/limpasan permukaan. Pada penelitian ini menggunakan *user specified hydrograph* yaitu HSS Nakayasu. Persamaan yang digunakan untuk HSS Nakayasu adalah sebagai berikut [8].

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{A Re}{0,3T_p + T_{0,3}} \right) \quad (2)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (3)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \quad (4)$$

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \quad (5)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (6)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \quad (7)$$

Q_p adalah debit puncak banjir ($m^3/s/mm$), A adalah luas DAS (km^2), Re adalah curah hujan efektif (1 mm), T_p adalah waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (jam), $T_{0,3}$ adalah waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam), dan t_g adalah waktu konsentrasi (jam). Bentuk hidrograf satuan saat lengkung naik maupun turun diberikan pada persamaan berikut ini [8].

Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (8)$$

Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \quad (9)$$

Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

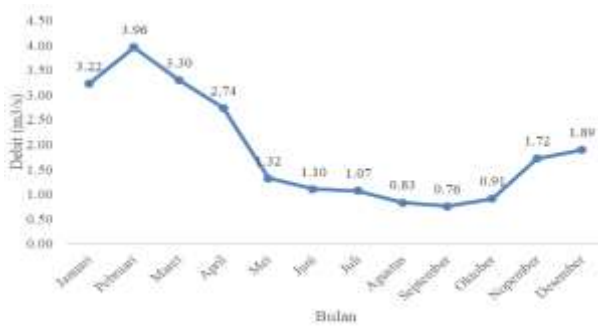
$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \quad (10)$$

Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \frac{(t-T_p)+1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}} \quad (11)$$

2.3. Baseflow

Data aliran dasar yang digunakan sebagai input ke HEC-HMS berupa debit aliran dasar bulanan. Data yang tersedia berupa data debit aliran dasar bulanan dari tahun 1993-2009. Selanjutnya data selama 16 tahun ini dicari nilai rerata debit aliran dasar tiap bulan. Rerata debit aliran dasar bulanan diberikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rerata debit aliran dasar bulanan

2.4. Program HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi hidraulika. Beberapa contoh penggunaan HEC-RAS adalah untuk analisis keruntuhan bendungan [9], untuk pengendalian banjir dan prediksi kejadian banjir [10], serta memodelkan aliran untuk perencanaan saluran [11]. Selain itu, HEC-RAS juga dapat digunakan untuk memodelkan loncat air pada pelimpah bendungan [12]. Simulasi aliran pada penelitian ini menggunakan *steady flow*.

Dasar pemodelan aliran 1D dengan HEC-RAS untuk *steady flow* adalah pemecahan persamaan kekekalan energi satu dimensi. Kehilangan energi dievaluasi dengan gesekan menggunakan persamaan Manning dan kontraksi maupun ekspansi. Sementara itu, persamaan momentum digunakan apabila profil permukaan air berubah dengan cepat. Pada penelitian ini menggunakan HEC-RAS versi 4.1.0. Persamaan energi [13] antara dua tampang melintang diberikan pada Persamaan (12). Dengan menggunakan persamaan tersebut, untuk aliran permanen HEC-RAS menghitung profil muka air antara satu tampang melintang ke tampang melintang berikutnya secara berurutan.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \tag{13}$$

dimana Y merupakan kedalaman aliran, Z merupakan elevasi dasar saluran, V merupakan kecepatan rata-rata, α merupakan koefisien, g merupakan percepatan gravitasi, h_e merupakan kehilangan tinggi energi. Kehilangan energi pada dua tampang melintang [13] yang berurutan dapat dihitung dengan Persamaan (14). Kehilangan energi ini terdiri dari dua komponen yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (*contraction or expansion losses*).

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \tag{14}$$

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \tag{15}$$

dimana L adalah panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit, \bar{S}_f adalah *representative friction slope* antar kedua tampang, C adalah koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi), L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} adalah panjang ruas sungai di sisi kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), dan sisi kanan (*right overbank*), \bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} adalah debit yang

mengalir melalui *left overbank*, *main channel*, *right overbank*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penelusuran Banjir HEC-HMS

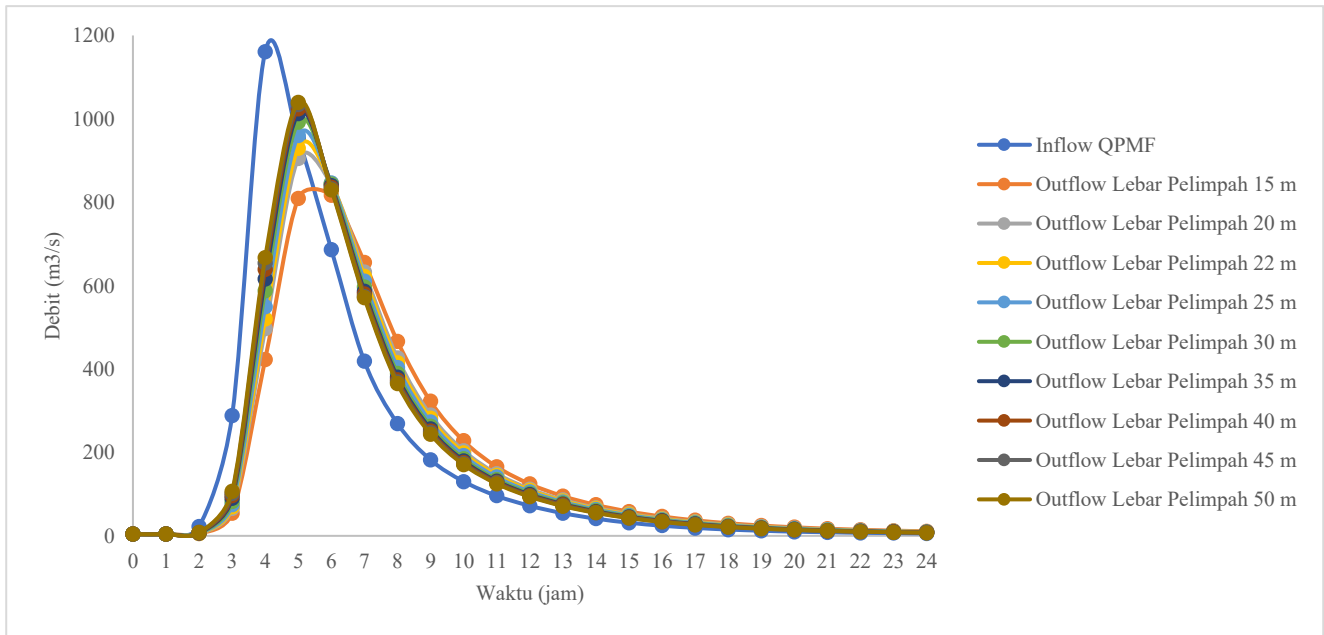
Hasil debit banjir rancangan HSS Nakayasu menggunakan HEC-HMS selanjutnya dibandingkan dengan perhitungan debit banjir rancangan HSS Nakayasu perencana. Tabel 2 memperlihatkan perbandingan debit banjir rancangan tersebut. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai hasil debit banjir rancangan HEC-HMS berbeda dengan hasil perhitungan perencana. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan dari beberapa metode yang digunakan. Perbedaan yang dimaksud adalah penggunaan metode ABM untuk menentukan distribusi hujan jam-jaman, metode CN untuk menghitung nilai abstraksi, serta penentuan debit aliran dasar yang digunakan.

Setelah didapatkan nilai debit banjir rancangan, dilakukan penelusuran banjir untuk menentukan lebar pelimpah. Penelusuran banjir ini dilakukan menggunakan kala ulang 1000 tahun dan PMF. Penentuan awal lebar pelimpah dilakukan dengan metode coba-coba. Lebar pelimpah yang dimasukkan ke HEC-HMS adalah 15 m, 20 m, 22 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, dan 45 m. Debit *outflow* masing-masing lebar pelimpah diberikan pada Gambar 4. Debit *outflow* ini yang menjadi dasar dari penentuan lebar pelimpah.

Tabel 2. Perbandingan debit banjir rancangan hasil HEC-HMS dengan hitungan perencana

Kala Ulang	Hasil HEC-HMS (m³/s)	Hitungan Perencana (m³/s)
Q ₂	20,6	112,69
Q ₅	52,6	156,22
Q ₁₀	89,3	193,77
Q ₂₀	132,3	231,29
Q ₂₅	159,2	252,70
Q ₅₀	231,6	306,19
Q ₁₀₀	323,7	368,98
Q ₅₀₀	500,7	481,29
Q ₁₀₀₀	820	670,95
Q _{PMF}	1160,2	928,44

Perhitungan untuk menentukan lebar pelimpah diperlihatkan pada Tabel 3. Penentuan lebar pelimpah dilakukan dengan meninjau debit *outflow*, Q₁₀₀₀ kemudian dikontrol dengan Q_{PMF}. Lebar pelimpah dipilih apabila nilai tinggi jagaan lebih tinggi daripada H_f aman. Untuk tinjauan Q₁₀₀₀, lebar pelimpah 45 m dan 50 m memiliki tinggi jagaan yang cukup apabila dibandingkan dengan H_f aman. H_f aman dihitung dari tinggi jagaan saat Q_{PMF} serta kemungkinan terjadinya gempa [14]. Selanjutnya, pada hasil perhitungan dengan Q_{PMF}, lebar pelimpah 25 m, 30 m, 35 m, 40 m, 45 m, dan 50 m memiliki tinggi jagaan yang mencukupi. Berdasarkan perhitungan tersebut, lebar pelimpah yang digunakan adalah 45 m karena tinggi jagaan sudah memenuhi ditinjau dari Q₁₀₀₀ maupun dikontrol Q_{PMF}.



Gambar 4. Penelusuran Banjir QPMF

Tabel 3. Perhitungan untuk menentukan lebar pelimpah

No	Lebar Pelimpah (m)	Q inflow maks (m ³ /s)	Q outflow maks (m ³ /s)	H maks (m)	Reduksi puncak banjir		Elevasi MAB FWL (m)	Elevasi Puncak Bendungan TDL (m)	Tinggi jagaan (m)	Hf aman	Keterangan
					m ³ /s	%					
Tinjauan Q1000											
1	15	820	560	7.1	260	31.71	258.1	259	0.9	3.88	Tidak Memenuhi
2	20	820	628.2	6.2	191.8	23.39	257.2	259	1.8	3.88	Tidak Memenuhi
3	22	820	646.5	6	173.5	21.16	257	259	2	3.88	Tidak Memenuhi
4	25	820	667.6	5.6	152.4	18.59	256.6	259	2.4	3.88	Tidak Memenuhi
5	30	820	692.8	5.1	127.2	15.51	256.1	259	2.9	3.88	Tidak Memenuhi
6	35	820	709.5	4.6	110.5	13.48	255.6	259	3.4	3.88	Tidak Memenuhi
7	40	820	720.5	4.3	99.5	12.13	255.3	259	3.7	3.88	Tidak Memenuhi
8	45	820	728.5	4	91.5	11.16	255	259	4	3.88	Memenuhi
9	50	820	734.1	3.8	85.9	10.48	254.8	259	4.2	3.88	Memenuhi
Tinjauan QPMF											
1	15	1161.2	808.8	9.3	352.4	30.35	260.3	259	-1.3	0.75	Tidak Memenuhi
2	20	1161.2	904.6	8	256.6	22.10	259	259	0	0.75	Tidak Memenuhi
3	22	1161.2	929.9	7.6	231.3	19.92	258.6	259	0.4	0.75	Tidak Memenuhi
4	25	1161.2	959.5	7.1	201.7	17.37	258.1	259	0.9	0.75	Memenuhi
5	30	1161.2	992.6	6.4	168.6	14.52	257.4	259	1.6	0.75	Memenuhi
6	35	1161.2	1012.6	5.8	148.6	12.80	256.8	259	2.2	0.75	Memenuhi
7	40	1161.2	1024.6	5.4	136.6	11.76	256.4	259	2.6	0.75	Memenuhi
8	45	1161.2	1033.8	5	127.4	10.97	256	259	3	0.75	Memenuhi
9	50	1161.2	1039.7	4.7	121.5	10.46	255.7	259	3.3	0.75	Memenuhi

3.2. Hasil Simulasi HEC-HMS

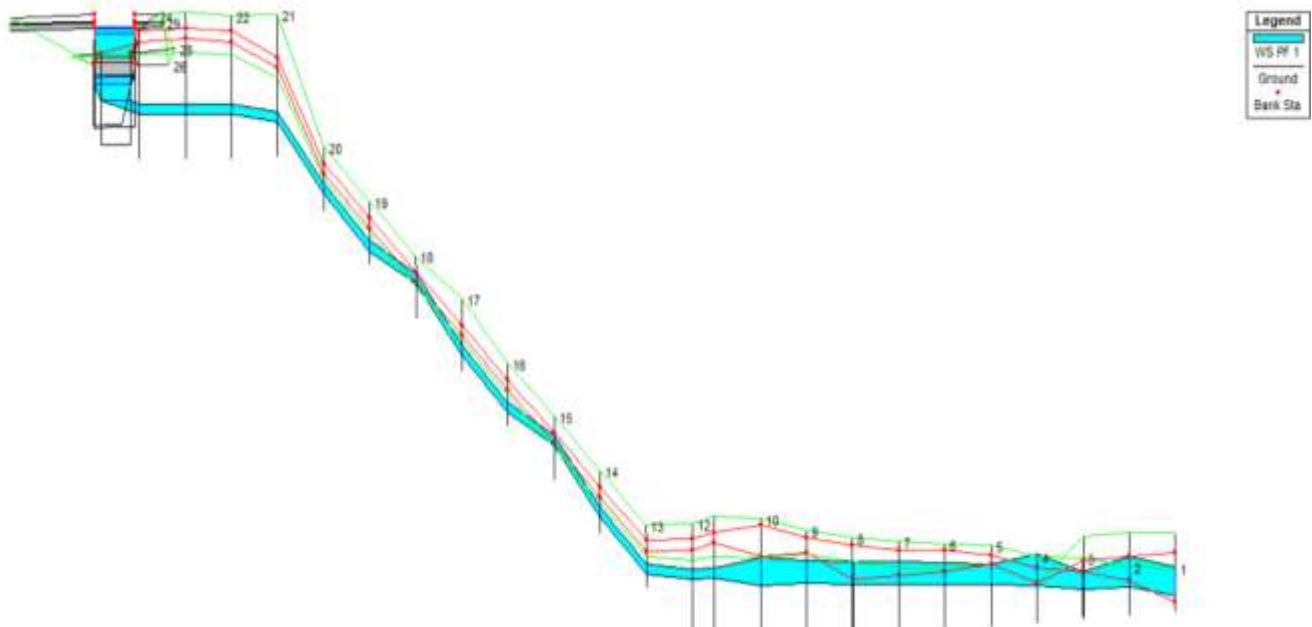
Simulasi yang dilakukan dengan data geometri perencanaan DED dan debit *outflow* Q₁₀₀₀ hitungan perencana menunjukkan bahwa terjadi limpasan pada

saluran akhir. Sementara itu, untuk hasil simulasi Q_{PMF} terjadi limpasan pada saluran peluncur dan saluran akhir. Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi HEC-RAS untuk debit *outflow* Q₁₀₀₀. Limpasan yang terjadi pada saluran akhir ditandai oleh lingkaran hitam. Limpasan ini

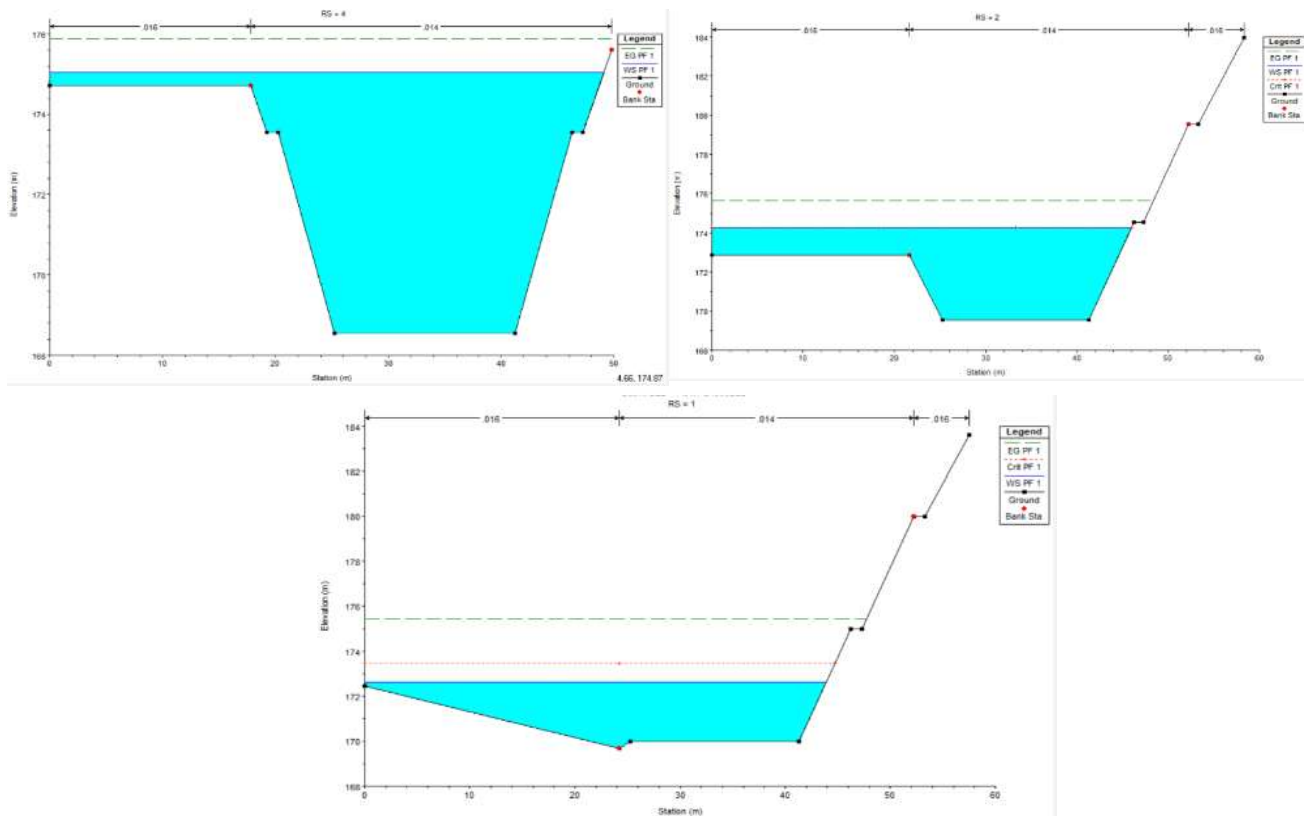
disebabkan oleh dimensi saluran pelimpah yang tidak mampu mengalirkan debit banjir rancangan serta tanggul yang cukup rendah. Oleh karena itu, diperlukan beberapa perubahan pada desain hidraulik pelimpah.

Potongan melintang saluran akhir yang mengalami limpasan diberikan pada Gambar 6. Pada saluran akhir RS 4 (kiri atas), profil muka air lebih tinggi 0,32 m daripada elevasi saluran. Sementara itu pada RS 2 yang juga merupakan saluran akhir (kanan atas), profil muka air lebih

tinggi 1,43 m dari elevasi saluran. RS 1 merupakan saluran paling hilir (bawah). Saluran hilir juga mengalami limpasan karena elevasi saluran yang kurang mencukupi. Berdasarkan hasil simulasi ini maka perlu dilakukan beberapa perubahan pada saluran pelimpah agar dapat mengalirkan debit *outflow* yang telah dihitung menggunakan HEC-HMS, mengingat hasil analisis dari HEC-HMS memberikan nilai debit *outflow* yang lebih tinggi daripada hitungan perencanaan.



Gambar 5. Hasil Simulasi HEC-RAS menggunakan data geometri DED dan debit *outflow* Q_{1000}



Gambar 6. Potongan melintang saluran akhir yang mengalami limpasan

Tabel 4. Perbandingan perubahan desain dengan DED

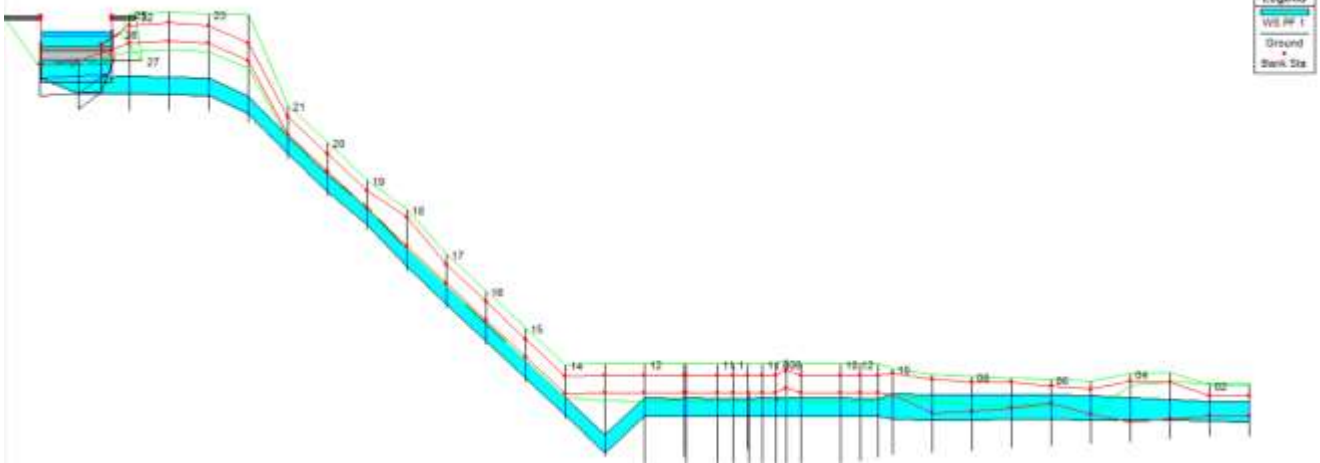
Perubahan	DED	Perubahan Desain
Debit	609,354 m ³ /s	728,5 m ³ /s (Q ₁₀₀₀)
Outflow	(Q ₁₀₀₀) 852,645 m ³ /s (Q _{PMF})	1033,8 m ³ /s (Q _{PMF})
Lebar	23 m (pelimpah) 16 m (saluran)	45 m (pelimpah) 40 m (saluran)
Elevasi Tanggul	Saluran pengarah Saluran akhir	+2 m untuk tanggul +2 m (pada <i>left overbank</i>), untuk <i>right overbank</i> tetap

Selanjutnya dilakukan beberapa perubahan pada saluran pelimpah. Beberapa perubahan ini yaitu memperlebar pelimpah dan saluran pelimpah, serta meninggikan elevasi tanggul saluran akhir. Perbandingan perubahan desain dengan DED diberikan pada Tabel 4. Lebar pelimpah pada desain DED adalah 23 m, diubah menjadi 45 m atau hampir dua kali lipatnya. Selain itu, saluran pelimpah juga

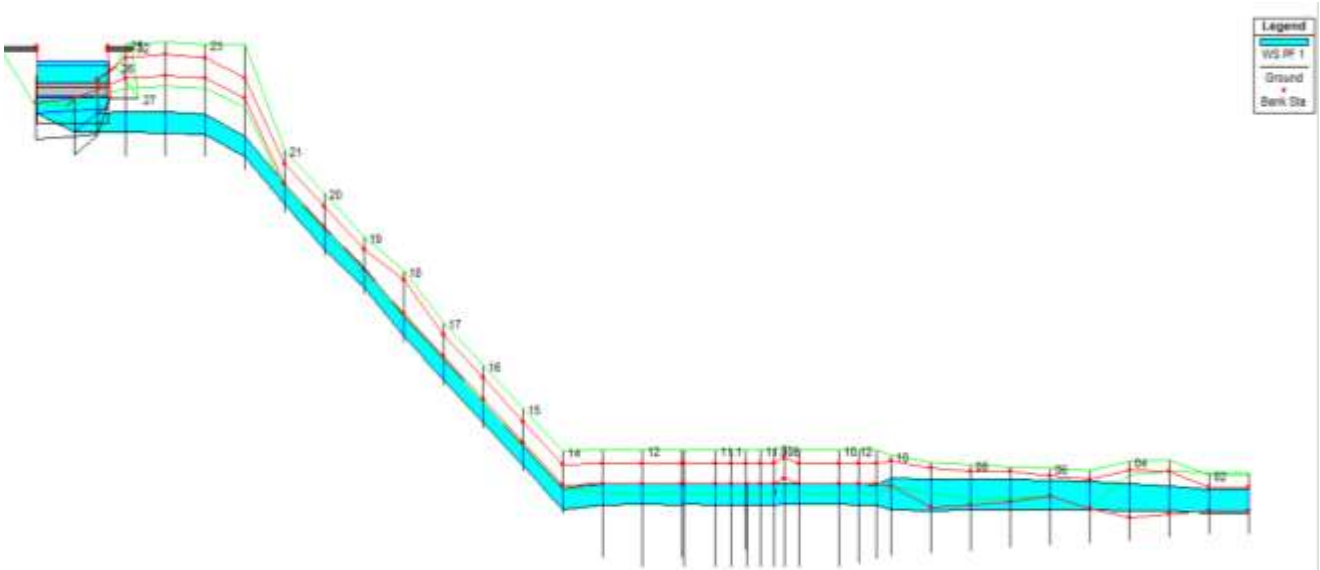
diperlebar menjadi 40 m yang awalnya 16 m. Elevasi tanggul untuk saluran pengarah dan saluran akhir dinaikkan 2 m.

Untuk mengetahui profil muka air secara menerus dari desain saluran pelimpah yang telah diubah, dilakukan simulasi dengan program HEC-RAS. Debit yang digunakan yaitu debit *outflow* Q₁₀₀₀ kemudian dikontrol oleh debit *outflow* Q_{PMF}. Hasil simulasi HEC-RAS diberikan pada Gambar 7. Hasil simulasi ini memperlihatkan bahwa tidak terjadi limpasan pada saluran pelimpah saat mengalirkan debit *outflow* Q₁₀₀₀. Elevasi tanggul saluran pengarah dan saluran akhir yang dinaikkan +2 m cukup untuk menampung debit yang mengalir.

Simulasi aliran pada pelimpah juga dilakukan dengan debit *outflow* Q_{PMF}. Gambar 8 memperlihatkan hasil simulasi dengan HEC-RAS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa saat mengalirkan debit *outflow* Q_{PMF} tidak terjadi limpasan pada saluran pelimpah. Perubahan-perubahan desain yang telah dilakukan, seperti pada Tabel 3, cukup untuk mencegah terjadinya limpasan. Berdasarkan hasil simulasi ini, saluran pelimpah mampu mengalirkan debit *outflow* yang telah direncanakan dengan baik.



Gambar 7. Hasil simulasi HEC-RAS untuk desain yang telah diubah dan debit *outflow* Q₁₀₀₀



Gambar 8. Hasil simulasi HEC-RAS untuk desain yang telah diubah dan debit *outflow* Q_{PMF}

4. Kesimpulan

Beberapa hal penting yang dapat disimpulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) Hasil simulasi HEC-HMS memberikan nilai debit banjir rancangan yang lebih tinggi dibandingkan debit banjir rancangan perencana yaitu 820 m³/s untuk Q₁₀₀₀ dan 1161,2 m³/s untuk Q_{PMF}.
- b) Hasil simulasi HEC-RAS menunjukkan bahwa bangunan pelimpah dari DED mampu mengalirkan debit *outflow* dengan baik.
- c) Perubahan desain bangunan pelimpah adalah pada lebar pelimpah menjadi 45 m, lebar saluran 40 m, serta meninggikan elevasi tanggul +2 m pada saluran pengarah dan saluran akhir.
- d) Simulasi bangunan pelimpah dengan desain yang telah diubah menunjukkan tidak terjadi limpasan sehingga bangunan pelimpah mampu mengalirkan debit *outflow* dengan baik.
- e) Dalam merencanakan desain bangunan pelimpah diperlukan simulasi baik dengan bantuan program komputer maupun model fisik agar dapat diketahui kondisi aliran serta kemampuan bangunan pelimpah dalam mengalirkan debit *outflow*.
- f) Kurangnya kalibrasi hasil simulasi karena terkendala ketersediaan data hidrologi secara terukur.

Daftar Pustaka

- [1] M.D. Azdan and C. Samekto, *Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia*, Surabaya: Sekretariat Seminar Nasional Bendungan Besar, 2008.
- [2] W.D. Ecology, *Dam Safety Guidelines*, 2005. [Online] Available at: <https://ecology.wa.gov/Water-Shorelines/Water-supply/Dams>. [Accessed on 19 December 2018]
- [3] M.A. Foster, R. Fell, and Spannagle, "The Statics of Embankment Dam Failures and Accidents", *Canadian Geotechnical Journal*, vol 37 no, 5, p. 1000, 2000.
- [4] D. Hoehn, *Appalachian Dam Design: Hydraulics and Hydrology*, 2014. [Online] Available at: http://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1724 [Accessed on 19 December 2018].
- [5] USACE, *Hydrologic Engineering Center, 2013*. Home Page. [Online]. Available at: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> [Accessed 19 December 2018].
- [6] I.K. Almeida, "Estimation on Time of Concentration of Overland Flow in Watersheds: A Review", *UNESP Geoscience*, 33(4), p. -, 2014.
- [7] A.D. Feldman, *Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual*, California: U.S Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center, 2000.
- [8] B. Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta: Beta Offset, 2016.
- [9] Y. Xiong, "A Dam Break Analysis Using HEC-RAS", *Journal of Water Resource and Protection*, vol 3, p. 370, 2011.
- [10] S. Modak and P. Nagarnaik, "Flood Control and Prediction of Flood Using HEC-RAS-A Review", *International Journal of Science and Research*, vol 6, no. 3, p. -, 2017.
- [11] D.J. Mehta, M. Ramani, and M. Joshi, "Application of 1-D HEC-RAS Model in Design of Channels" *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, vol. 1, no. 7, p. 103, 2014.
- [12] N.J. Sathe, A.V. Surve, G.A. Hinge, and D.S. Aswar, *Study of End Weir Using HEC-RAS of Gunjwani Dam Spillway*, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, vol. 5, no. 6, p. 51, 2018.
- [13] Istiarto, *Modul Pelatihan Simulasi Satu Dimensi dengan Bantuan Program HEC-RAS*, 2014. [Online]. Available at: <https://istiarto.staff.ugm.ac.id/index.Php/hec-ras/modul-hec-ras/>[Accessed 19 Desember 2018].
- [14] S. Sosrodarsono and K. Takeda, *Bendungan Type Urugan*, Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1977.