

Evaluasi Kemampuan Bendungan Logung dalam Mereduksi Banjir Akibat Perubahan Curah Hujan dan Tata Guna Lahan

Irawati Febriani *, Ignatius Sriyana, Suharyanto

Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Abstrak

Bendungan Logung merupakan bendungan multipurpose yang salah satu fungsinya sebagai pengendali banjir. Mengingat bahwa Bendungan Logung telah beroperasi selama 5 (lima) tahun sekaligus menanggapi perubahan pola curah hujan dan tata guna lahan, serta mengantisipasi kemungkinan kegagalan bendungan akibat overtopping, maka perlu dilakukan kajian penelusuran banjir di waduk menggunakan data hidrologi dan tutupan lahan terbaru. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan Bendungan Logung dalam mereduksi banjir. Model penelusuran banjir dalam penelitian ini menggunakan software HEC-HMS dengan metode Soil Conservation Services-Curve Number (SCS-CN). Berdasarkan analisis yang dilakukan terdapat peningkatan curah hujan rencana apabila dibandingkan dengan studi perencanaan tahun 2015 serta adanya perubahan tata guna lahan di DTA Waduk Logung yang menyebabkan nilai debit banjir rencana lebih besar dibandingkan dengan studi perencanaan. Bendungan Logung dapat mereduksi debit banjir untuk masing-masing kala ulang sebesar: $Q_2 = 42,88\%$; $Q_5 = 38,38\%$; $Q_{10} = 35,02\%$; $Q_{25} = 31,53\%$; $Q_{50} = 29,42\%$; $Q_{100} = 27,50\%$; $Q_{1000} = 20,72\%$; dan $Q_{PMF} = 16,43\%$. Hasil debit puncak Q_{PMF} sebesar $946,5 \text{ m}^3/\text{detik}$ yang berada pada elevasi $+93,5$, di mana elevasi tersebut berada di atas muka air banjir Q_{PMF} perencanaan yakni $+92,85$. Oleh karena itu tidak terjadi overtopping karena puncak bendungan berada pada elevasi $+94$.

Kata kunci: Bendungan Logung; HEC-HMS; penelusuran banjir; reduksi banjir; SCS-CN

Abstract

[Title: Evaluation of Logung Dam's Ability to Reduce Flooding Due to Changes in Rainfall and Land Use] Logung Dam is a multipurpose dam which one of its functions is as flood control. Knowing that the Logung Dam has been operating for 5 (five) years while responding to changes in rainfall pattern and land use, also anticipating the possibility of dam failure due to overtopping, it is necessary to conduct a flood routing study in the reservoir using the latest hydrological and land use datas. This research aims to evaluate the ability of the Logung Dam to reduce flooding. The flood routing model used HEC-HMS software with the Soil Conservation Services-Curve Number (SCS-CN) method. Based on the analysis, there was an increase in design rainfall when compared to the design report in 2015 and land use change in the Logung Reservoir catchment area which caused the value of the design flood discharge greater than the design report. Logung Dam can reduce flood discharge for each recurrence by: $Q_2 = 42.88\%$; $Q_5 = 38.38\%$; $Q_{10} = 35.02\%$; $Q_{25} = 31.53\%$; $Q_{50} = 29.42\%$; $Q_{100} = 27.50\%$; $Q_{1000} = 20.72\%$; and $Q_{PMF} = 16.43\%$. From the reservoir routing results, the peak Q_{PMF} discharge of $946.5 \text{ m}^3/\text{s}$ was obtained at an elevation of $+93.5$, where the elevation was above the Q_{PMF} original design flood water level of $+92.85$ but there was no overtopping occurred because the top of the dam was at an elevation of $+94$.

Keywords: flood routing; flood reduction; HEC-HMS; SCS-CN; Logung Dam

*) Penulis Korespondensi.
E-mail: irawatianastasia@gmail.com

1. Pendahuluan

Fenomena pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca telah menyebabkan perubahan iklim. Hal ini mempengaruhi perubahan pola curah hujan dalam perspektif spasial dan

temporal. Laporan keempat *Intergovernmental Panel on Climate Change* menyatakan bahwa pola curah hujan dan kejadian curah hujan ekstrem di negara-negara Asia Tenggara akan berubah seiring perubahan iklim (Halik et al., 2015).

Pergeseran pola dan peningkatan intensitas curah hujan tentunya berdampak pada perubahan *inflow* waduk, oleh karena itu pihak pengelola infrastruktur sumber daya air khususnya bendungan diharapkan mampu beradaptasi dengan kondisi terkini. Selain peningkatan curah hujan, faktor lain yang berpengaruh terhadap peningkatan *inflow* waduk yaitu penurunan kondisi fisik DAS. Belakangan ini, manusia melakukan eksploitasi besar-besaran terhadap sumberdaya yang ada pada DAS untuk memenuhi kebutuhan hidupnya yang kian meningkat. Eksploitasi tersebut mengakibatkan adanya alih fungsi lahan yang tidak terkendali. Perubahan tata guna lahan berdampak pada perubahan besaran debit banjir pada suatu DAS di mana air hujan mempunyai potensi lebih besar untuk menjadi limpasan permukaan dibandingkan terserap ke dalam tanah (Nurritzqi & Suyono, 2012).

Peningkatan *inflow* waduk tentunya berpengaruh terhadap keamanan bendungan. Ada kemungkinan terjadi

overtopping apabila debit *inflow* yang terjadi tidak sesuai dengan yang direncanakan sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat No 27 Tahun 2015. Pembangunan dan pengelolaan bendungan dilaksanakan berdasarkan konsepsi keamanan bendungan yang terdiri dari 3 (tiga) pilar, yaitu : (1) keamanan struktur yang meliputi aman terhadap kegagalan struktural, aman terhadap kegagalan hidraulis, dan aman terhadap kegagalan rembesan; (2) operasi, pemeliharaan, dan pemantauan; serta (3) kesiapsiagaan tindak darurat.

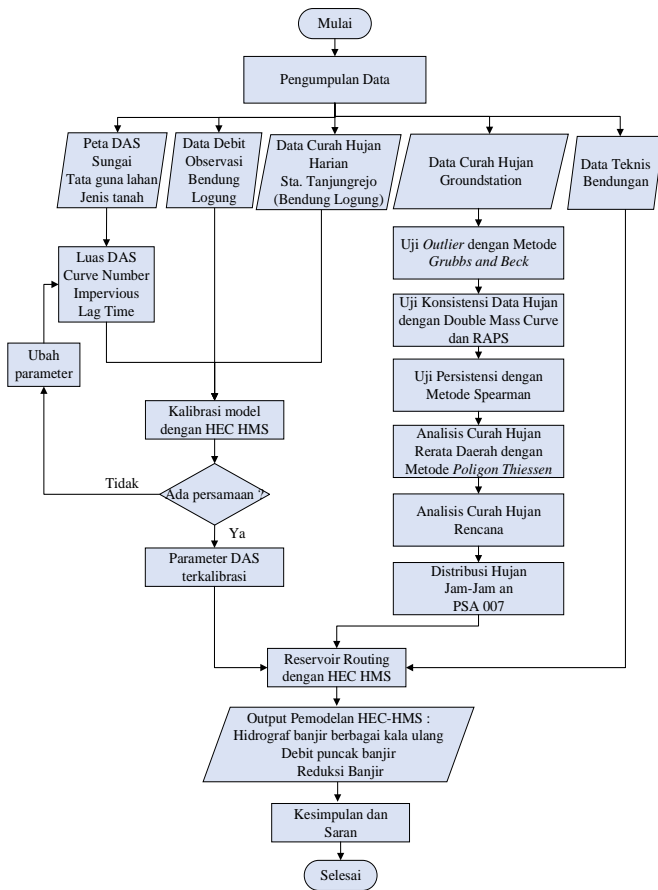
Bendungan Logung merupakan salah satu dari program pembangunan 65 bendungan dan sudah beroperasi sejak Tahun 2019. Bendungan Logung merupakan bendungan urugan tanah random dengan inti tegak yang mempunyai volume tampungan total sebesar ±20.150.000 m³. Fungsi Bendungan Logung yaitu untuk menyimpan air pada musim hujan sekaligus mereduksi banjir, selanjutnya cadangan air waduk tersebut dimanfaatkan pada musim kemarau untuk pemenuhan kebutuhan air baku dan suplai irigasi di DI. Logung.

Mengingat bahwa Bendungan Logung telah beroperasi selama 5 (lima) tahun dan menanggapi adanya fenomena perubahan curah hujan dan tata guna lahan, serta mengantisipasi kemungkinan kegagalan bendungan akibat *overtopping*, maka perlu dilakukan kajian penelusuran banjir menggunakan data hidrologi dan tutupan lahan terbaru untuk mengevaluasi kemampuan Waduk Logung dalam mereduksi banjir sebagai salah satu upaya mitigasi bencana.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan menggunakan data sekunder, di antaranya: (1) data hujan *groundstation* periode tahun 2009-2022 yang diperoleh dari Stasiun Rahtawu, Stasiun Gembong, dan Stasiun Tanjungrejo; (2) data debit hasil pengamatan selama tahun 2018 pada Bendung Logung yang diperoleh dari Balai PSDA Seluna; (3) peta *Digital Elevation Model* (DEM) yang diperoleh dari [https://tanahair.indonesia.go.id.;](https://tanahair.indonesia.go.id.) (4) peta Jenis Tanah yang diperoleh dari [https://tanahair.indonesia.go.id.;](https://tanahair.indonesia.go.id.) (5) Peta Tata Guna Lahan yang diperoleh dari <https://www.indonesia-geospasial.com>; dan (6) data Teknis Bendungan Logung yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana.

Guna meminimalisir penyimpangan selama proses penelitian berlangsung serta sebagai pedoman dalam melakukan analisis, maka diperlukan tahapan pengolahan data seperti ditampilkan pada Gambar 1 dengan langkah-langkah: (1) melakukan pengujian data hujan secara statistik, di antaranya uji *outlier* dengan metode *Grubbs and Beck*, uji konsistensi dengan metode Kurva Massa Ganda atau *Double Mass Curve* dan *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS), serta uji persistensi dengan metode



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tabel 1. Parameter Kalibrasi HEC-HMS

No	Parameter	Min	Maks	Satuan
1	Curve Number	35	99	-
2	Transform (Lag Time)	0	30000	Jam
3	Recession Constant	0	1	-
4	Ratio to Peak	0	1	-
5	Routing (Lag Time)	0,1	30000	Jam

Sumber: Islami, 2021

Spearman; (2) melakukan analisis curah hujan merata daerah dengan metode Poligon *Thiesen*, menggunakan data hujan *groundstation* dari stasiun Rahtawu, stasiun Gembong, dan stasiun Tanjungrejo; (3) melakukan analisis frekuensi dan uji kesesuaian distribusi hujan menggunakan Uji Smirnov Kolmogorov dan Uji Chi-Square untuk mendapatkan curah hujan rencana; (4) melakukan distribusi hujan jam-jam an menggunakan PSA 007; (5) melakukan penentuan parameter DAS menggunakan metode *SCS Curve Number* dengan cara melakukan *overlay* peta tata guna lahan, peta jenis tanah, dan peta DEM pada DTA Waduk Logung; (6) menghitung *Curve Number*, *Impervious*, dan *Lag Time*; (7) membuat model DTA Waduk Logung pada HEC-HMS; (8) membuat model DTA Bendung Logung pada HEC-HMS untuk kalibrasi; (9) melakukan kalibrasi model menggunakan data curah hujan harian dan data debit observasi harian dari Bendung Logung; dan (10) melakukan penelusuran banjir pada Waduk Logung dengan parameter DAS terkalibrasi menggunakan HEC-HMS dengan berbagai kala ulang.

2.1 Lokasi Penelitian

Bendungan Logung secara geografis terletak pada 110° 55' 20.00"BT (Bujur Timur) dan 06° 45' 28.00" LS (Lintang Selatan). Bendungan Logung berada di hilir pertemuan Sungai Logung dan Sungai Gajah, Daerah genangan Waduk Logung mencakup wilayah Dukuh Sintru, Desa Kandang Mas, Kecamatan Dawe dan Dukuh Slalang, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus. Bendungan ini dikelola oleh BBWS Pemali Juana.

2.2 Analisis Hidrologi

2.2.1 Analisis Hujan Wilayah

Hujan pada suatu daerah harus diperkirakan dari suatu titik pengukuran dikarenakan pos penakar hujan hanya dapat menggambarkan kedalaman hujan pada titik di mana pos tersebut berada (Triatmodjo, 2008). Jika terdapat beberapa pos penakar hujan yang tersebar di suatu wilayah, maka terdapat kemungkinan perbedaan jumlah curah hujan yang tercatat di setiap pos hujan. Pada penelitian ini dilakukan analisis hujan wilayah menggunakan metode poligon *Thiesen* yang dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\bar{p} = \frac{A_1p_1 + A_2p_2 + A_3p_3 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \tag{1}$$

dimana \bar{p} merupakan hujan merata daerah (mm); p_1, p_2, \dots, p_n adalah hujan di pos hujan 1,2,3,...n; dan A_1, A_2, \dots, A_n merupakan luas daerah yang terpengaruh oleh pos hujan 1,2,3,...n.

2.2.2 Distribusi Hujan Jam-Jam an

Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume II tentang Analisis Hidrologi menyarankan perhitungan distribusi hujan jam-jaman menggunakan PSA 007 (Kementerian Pekerjaan Umum, 1999). Apabila data hidrograf banjir dari AWLR dan data distribusi hujan jam-jam an dari pos hujan otomatis tidak tersedia, maka pola distribusi hujan dapat ditetapkan dengan mengacu pada metode PSA-007. Selanjutnya untuk memperoleh hujan jam-jam an sesuai dengan PSA 007, distribusi hujan disusun dalam bentuk genta.

2.3 Penelusuran Banjir dengan HEC-HMS

Penelusuran banjir merupakan peramalan hidrograf di suatu titik pada suatu aliran berdasarkan pengamatan hidrograf di titik lain sehingga dapat dilakukan peramalan hidrograf dalam suatu DAS (Soemarto, 1987). Scharffenberg et al., (2010) menyatakan bahwa model HEC-HMS sangat mudah untuk disesuaikan dengan kondisi aktual, karena terdapat banyak pilihan fitur untuk berbagai analisis hidrologi, salah satunya yaitu penelusuran banjir di waduk.

2.3.1 Metode Loss (Metode SCS CN)

Metode perhitungan dari *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) beranggapan bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah, serta kelembaban dengan model perhitungan yang ditampilkan pada Persamaan 2 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2000).

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S} \tag{2}$$

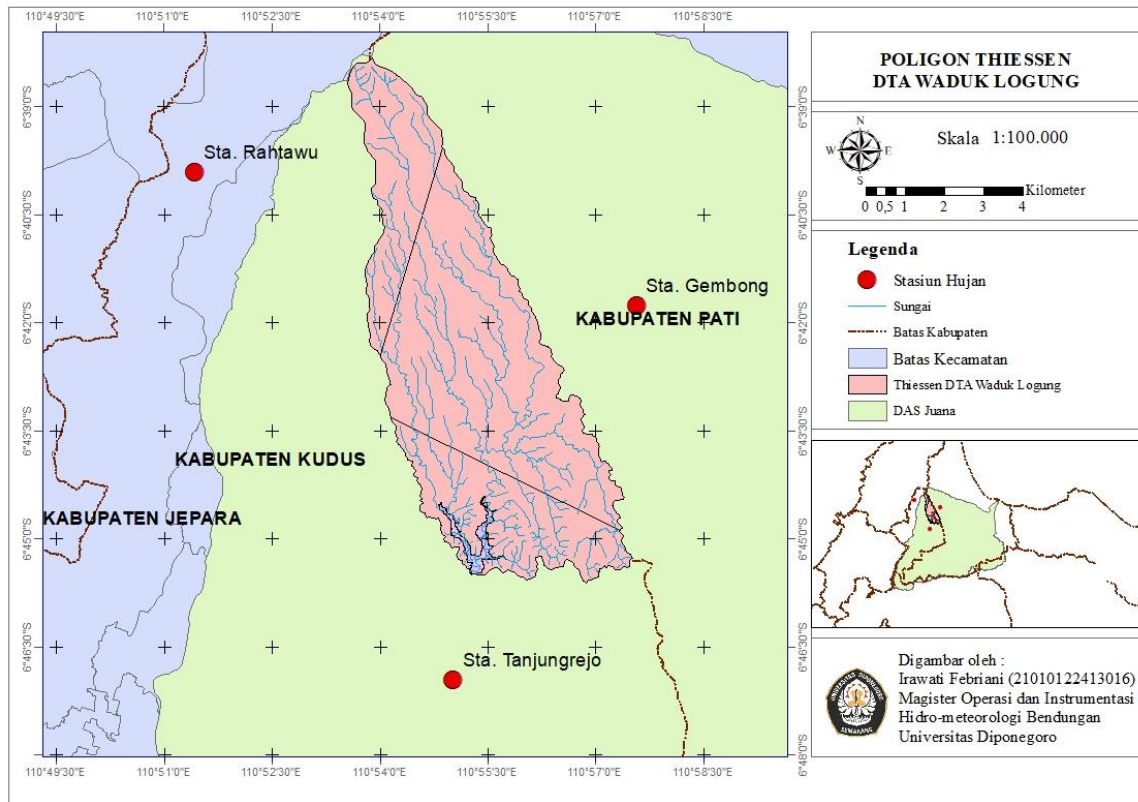
dimana Pe merupakan hujan efektif; P adalah hujan kumulatif; Ia adalah *Initial Abstraction* (abstraksi awal) merupakan jumlah hujan yang jatuh sebelum melimpas, terdiri dari intersepsi, infiltrasi, dan retensi (USDA NRCS, 2021); dan S adalah Kemampuan penyimpanan atau retensi maksimum

Menurut Chow, et al., (1988) korelasi antara Ia dengan S ditunjukkan dalam Persamaan 3.

$$Ia = 0,2 S \tag{3}$$

Nilai kemampuan penyimpanan atau retensi maksimum dapat dicari dengan Persamaan 4.

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \tag{4}$$



Gambar 2. Poligon *Thiesen* pada DTA Waduk Logung

di mana S adalah kemampuan penyimpanan atau retensi maksimum, sedangkan CN adalah *Curve Number*.

Nilai CN bergantung pada jenis tata guna lahan dan jenis tanah yang berkisar antara 30 sampai dengan 100. Nilai 30 untuk permukaan dengan infiltrasi tinggi dan tidak kedap air, sedangkan nilai 100 digunakan untuk permukaan yang digenangi oleh air.

Untuk mendapatkan nilai CN pada suatu DAS yang memiliki tutupan lahan dan jenis tanah yang beragam, maka digunakan perhitungan CN komposit sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 5 (US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 2000).

$$CN_{komposit} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \quad (5)$$

dimana $CN_{komposit}$ adalah CN (nilai penggunaan lahan) komposit; A adalah luas jenis penggunaan lahan.

2.3.2 Metode Transform (Metode SCS Unit Hydrograph)

Merupakan metode hidrograf satuan yang akan digunakan untuk memperhitungkan besarnya limpasan. Metode *transform* yang digunakan yaitu metode *SCS Unit Hydrograph*. Parameter yang berpengaruh terhadap

metode SCS yakni tenggang waktu (*lag time*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat pada debit puncak hidrograf. Perhitungan *lag time* untuk SCS pada SubDAS dapat dihitung menggunakan Persamaan 6 (Munajad & Suprayogi, 2016).

$$tL = \frac{L^{0,8} \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{1900 Y^{0,5}} \quad (6)$$

di mana tL adalah *lag time*/ tenggang waktu (jam); L adalah panjang sungai (ft); CN adalah *curve number*; dan Y adalah rata-rata kemiringan lereng (%).

2.3.3 Kalibrasi

Menurut Vase et al., (2011) dalam Fauzi et al., (2019) kalibrasi merupakan proses mencari nilai parameter optimal yang dapat memberikan estimasi terbaik terhadap debit sungai hasil pengamatan di lapangan.

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk memperoleh hidrograf hasil perhitungan model yang mendekati hidrograf hasil pengukuran. Parameter HEC-HMS yang dapat dikalibrasi ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 2. Curah Hujan Daerah di DTA Waduk Logung

No	Tahun	Curah Hujan Daerah (mm)
1	2009	109,49
2	2010	54,13
3	2011	147,33
4	2012	77,92
5	2013	97,41
6	2014	210,25
7	2015	93,74
8	2016	72,42
9	2017	84,24
10	2018	150,60
11	2019	75,61
12	2020	186,68
13	2021	63,93
14	2022	122,18

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Uji Kualitas Data Hujan

Suatu series data hujan perlu diuji terlebih dahulu secara statistik sebelum digunakan untuk analisis hidrologi. Uji statistik yang dilakukan terhadap data hujan meliputi uji *outlier* menggunakan metode *Grubbs and Beck*, uji konsistensi dengan Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve*) dan *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS), serta uji persistensi dengan metode Spearman.

Hasil uji statistik seluruh data hujan pada stasiun Rahtawu, Gembong, dan Tanjungrejo menunjukkan sifat data yang konsisten, tidak terdapat *outlier*, dan tidak

bersifat ketergantungan sehingga dapat digunakan untuk analisis hidrologi

3.2 Analisis Hujan Rerata Daerah

Analisis hujan rerata daerah pada DTA Waduk Logung dihitung dengan metode Poligon *Thiesen* menggunakan data hujan dari stasiun Rahtawu, Gembong, dan Tanjungrejo, di mana ketiga stasiun tersebut merupakan stasiun terdekat yang berpengaruh terhadap Daerah Aliran Logung. Data hujan yang digunakan sepanjang 14 tahun dengan periode data hujan mulai Tahun 2009 sampai dengan Tahun 2022.

Hasil bobot atau pengaruh pada DTA Waduk Logung untuk stasiun hujan Rahtawu sebesar 8,94 km² atau 19%, stasiun hujan Gembong sebesar 26,70 km² atau 57%, dan stasiun hujan Tanjungrejo sebesar 11,37 km² atau 24%. Poligon *Thiesen* DTA Waduk Logung ditampilkan pada Gambar 2, untuk hasil perhitungan curah hujan daerah disajikan pada Tabel 2.

3.3. Analisis Curah Hujan Rencana

Berdasarkan uji parameter statistik yang dilakukan terhadap distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III diperoleh hasil bahwa hanya distribusi Log Pearson Tipe III yang memenuhi persyaratan. Uji Smirnov Kolmogorov dan uji Chi-Square menyatakan bahwa distribusi Log Pearson Tipe III diterima dan akan digunakan untuk analisis berikutnya.

Apabila hasil analisis curah hujan rencana dibandingkan dengan studi perencanaan bendungan Logung tahun 2015, terdapat peningkatan besaran curah hujan pada setiap kala ulang dengan persentase kenaikan rata- rata sebesar 0,092% seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Analisis Hujan Rencana

No.	Periode Ulang (tahun)	Perencanaan 2015 (mm)	Hasil Analisis 2023 (mm)	Persentase Kenaikan (%)
1	2	98.682	99.644	0.010
2	5	131.949	142.466	0.080
3	10	157.735	174.167	0.104
4	25	194.910	218.113	0.119
5	50	226.171	253.760	0.122
6	100	260.650	291.975	0.120
7	1000	405.524	441.887	0.090
Rata- rata				0.092

Tabel 4. Perbandingan Hasil Analisis Hujan Rencana berbagai metode untuk kala ulang 100. 1000, dan PMP

No	Kala Ulang (tahun)	Log Pearson III (mm)	Hershfield (mm)	Peta Isohiet (mm)
1	100	291,97	-	229,56
2	1000	441,89	-	524,48
3	PMP	-	594,95	775,87

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Hujan Rencana

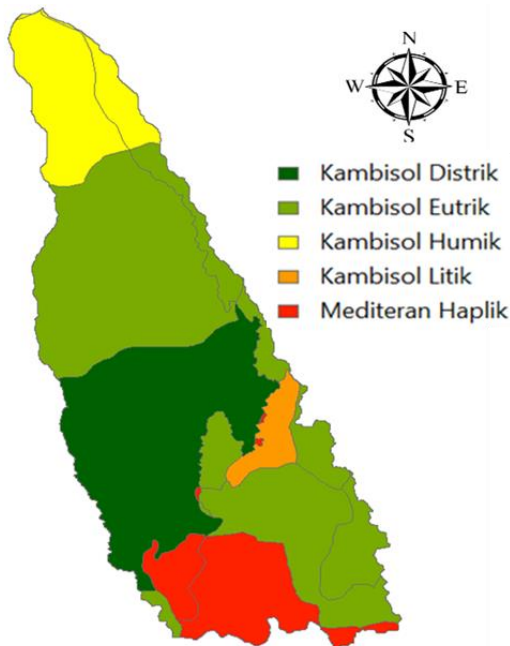
No.	Periode Ulang (tahun)	Hujan Rencana (mm)
1	2	99,644
2	5	142,466
3	10	174,167
4	25	218,113
5	50	253,760
6	100	291,975
7	1000	524,484
8	PMP	775,875

Selanjutnya untuk hujan rencana dengan kala ulang 100 dan 1000 dibandingkan antara Log Pearson III dengan Peta Isohiet, sedangkan untuk kala ulang PMP dibandingkan antara metode Hershfield dengan Peta Isohiet kemudian dipilih hasil yang terbesar seperti terlihat pada Tabel 4.

Berdasarkan perbandingan hasil analisis hujan rencana untuk kala ulang 100, 1000, dan PMP antara Log Pearson Tipe III, Hershfield, dan peta Isohiet, maka untuk analisis berikutnya hujan kala ulang 100 menggunakan hasil dari perhitungan dengan metode Log Pearson tipe III, sedangkan untuk kala ulang 1000 dan PMP menggunakan peta Isohiet dari Puslitbang Air. Dengan demikian hasil analisis hujan rencana dapat dilihat pada Tabel 5.

3.4. Distribusi Hujan Jam- Jam an

Pola distribusi hujan pada penelitian menggunakan metode PSA-007. Hasil distribusi hujan



Gambar 3. Peta Jenis Tanah DTA Waduk Logung

pada DTA Waduk Logung selama 6 jam disajikan dalam Tabel 6.

3.5. Penentuan Parameter DAS

Parameter atau karakteristik DAS ditentukan menggunakan metode *SCS-CN* dengan cara melakukan *overlay* peta jenis tanah, peta tata guna lahan, dan peta DEM. Peta jenis tanah DTA Waduk Logung dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan peta tata guna lahan DTA Waduk Logung ditampilkan pada Gambar 4.

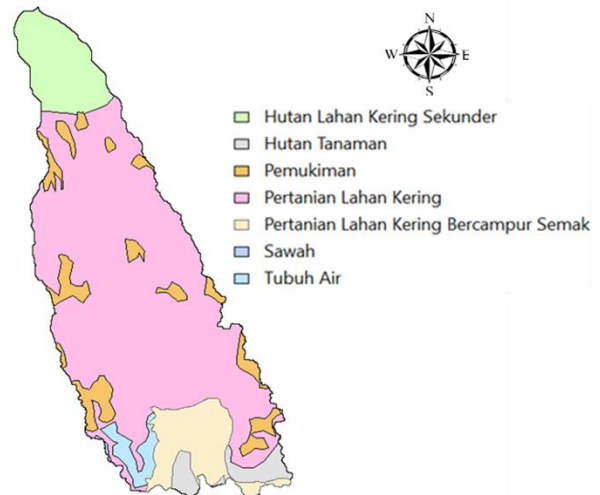
Apabila hasil analisis dibandingkan dengan studi perencanaan seperti yang terlihat pada Tabel 7, maka tampak adanya perubahan tata guna lahan di mana terjadi penurunan persentase pada hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, pertanian lahan kering bercampur semak, dan sawah, sementara itu terdapat peningkatan persentase luasan pada pemukiman, pertanian lahan kering, dan tubuh air.

3.6. Penelusuran Banjir pada Waduk menggunakan HEC-HMS

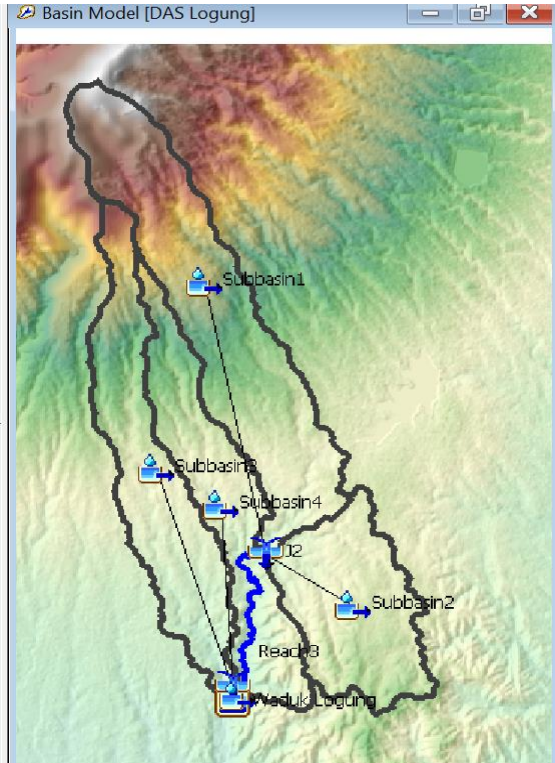
HEC-HMS merupakan model yang dapat merepresentasikan kondisi alam yang sebenarnya (Limbong & Wulandari, 2022). Penelusuran banjir di waduk dapat dilakukan dengan model HEC-HMS, di mana penggunaan model tersebut dimaksudkan untuk memberikan estimasi debit banjir secara cepat serta melihat pengaruh perubahan kapasitas tampungan waduk pada kondisi debit puncak banjir.

3.6.1 Pengisian Komponen Basin Model

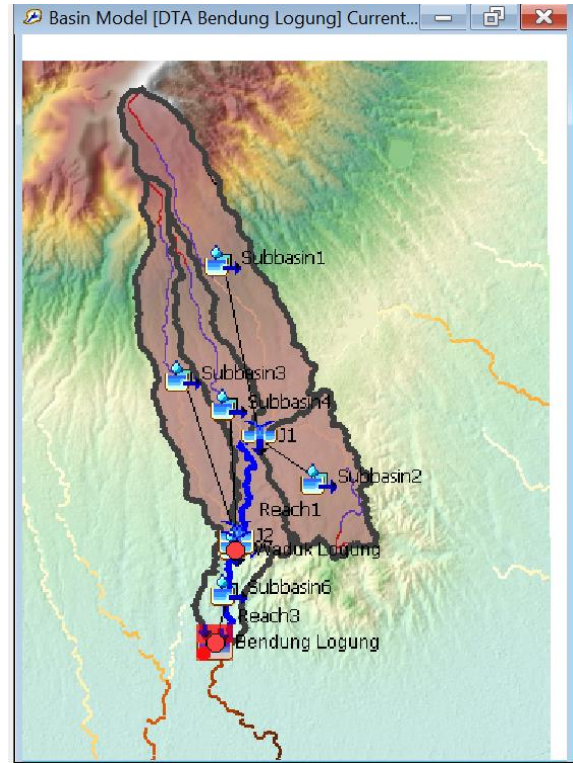
Tahap awal membangun *basin model* dapat dilakukan dengan cara membuat deliniasi DAS pada HEC-HMS. Untuk keperluan deliniasi digunakan peta DEM sebagai masukan *terrain data*, selanjutnya dilakukan tahapan *Preprocess Sinks*, *Preprocess Drainage*, dan *Identify Streams*, serta menentukan *Break Points Manager* yang merupakan titik lokasi bendungan



Gambar 4. Peta Tata Guna Lahan DTA Waduk Logung



Gambar 5. Hasil Delineasi DTA Waduk Logung menggunakan HEC-HMS



Gambar 6. Hasil Delineasi DTA Bendung Logung

Tabel 6. Distribusi Hujan DTA Waduk Logung Durasi 6 Jam

Jam ke-	Hujan netto jam-jaman (mm)							
	2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th	1000 th	PMP
1	2,79	3,99	4,88	6,11	7,11	8,18	14,69	21,72
2	7,63	11,30	14,63	18,83	23,09	27,25	52,62	65,17
3	49,66	69,81	82,90	102,30	115,46	130,80	223,95	369,32
4	4,09	6,65	9,75	13,23	17,76	21,80	46,50	43,45
5	2,79	3,99	4,88	6,11	7,11	8,18	14,69	21,72
6	2,79	3,99	4,88	6,11	7,11	8,18	14,69	21,72

Tabel 7. Rekapitulasi Tata Guna Lahan DTA Waduk Logung

Jenis Lahan	Studi Perencanaan 2015	Hasil Analisis (peta th 2020)	
	Persentase (%)	Persentase (%)	Luas (km ²)
Hutan Lahan Kering Sekunder	28,10	9,89	4,65
Hutan Tanaman	6,85	3,36	1,581
Pemukiman	5,71	8,14	3,827
Pertanian Lahan Kering	41,08	67,42	31,694
Tubuh Air	-	2,36	1,111
Pertanian Lahan Kering Bercampur	15,98	8,73	4,103
Semak			
Sawah	2,28	0,1	0,045
Total	100,00	100,00	47,01

sebagai outlet, setelah itu program HEC-HMS akan mendelineasi batas DAS secara otomatis dengan hasil yang terlihat pada Gambar 5.

Elemen yang dihasilkan dari delineasi terdiri dari 5 subbasin, 2 reach, 2 junction, dan 1 reservoir yang merupakan Waduk Logung sebagai lokasi outlet. Elemen-elemen tersebut secara keseluruhan

Tabel 8 Parameter DTA Waduk Logung setelah Kalibrasi

Subbasin	Curve Number	Impervious (%)	Ia	Lag Time (menit)
Subbasin 1	79,37	5,46	13,20	159,02
Subbasin 2	78,37	5,76	14,02	127,67
Subbasin 3	80,07	11,24	12,64	176,61
Subbasin 4	79,04	9,65	13,47	149,72
Subbasin 5	86,65	42,34	7,83	10,29

menggambarkan karakteristik fisik dari DTA Waduk Logung. Pada *basin model* terdapat parameter yang harus diisi sebagai representasi dari kondisi DAS yang akan dimodelkan, meliputi *Loss Method*, *Transform Method*, dan *Baseflow Method*.

Loss Method yang digunakan yakni *SCS Curve Number* di mana parameter yang diisi berupa *Initial Abstraction*, *Curve Number*, dan *Impervious* yang diperoleh dari *overlay* antara peta jenis tanah dan peta penggunaan lahan pada DTA Waduk Logung. Pemilihan *Transform Method* menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* dengan mengisi parameter *lag time* yang diperoleh dari panjang sungai, *Curve Number*, dan kemiringan (*slope*) rerata pada DAS. Pada *Baseflow Method* dipilih metode *Recession* di mana parameter yang diisi berupa *Initial Discharge*, *Recession Constant*, dan *Ratio to Peak*.

Model penelusuran banjir dilakukan di Bendungan Logung, sehingga diperlukan pengisian data teknis bendungan pada elemen *reservoir* yang telah dibuat. Data teknis bendungan yang dimasukkan meliputi data *outlet*, *spillway*, dan *dam top*.

3.6.2 Pengisian Komponen Meteorological Model

Tahapan ini bertujuan untuk memasukkan data meteorologi pada setiap elemen *subbasin*. Pada metode

Precipitation menggunakan *Specified Hyetograph* untuk mendefinisikan data curah hujan yang digunakan pada masing- masing *subbasin*. Simulasi penelusuran banjir di DTA Waduk Logung ini dilakukan dengan kala ulang Q2, Q5, Q10, Q25, Q50, Q100, Q1000, dan QPMP. Sehingga setiap *subbasin* didefinisikan sesuai dengan data curah hujan yang digunakan untuk masing- masing kala ulang.

3.6.4 Pengisian Komponen Control Specifications

Komponen ini bertujuan untuk menentukan lamanya simulasi yang akan dilakukan pada pemodelan HEC-HMS. *Control specifications* terdiri dari pengaturan waktu awal dan waktu akhir dari simulasi serta interval waktu yang akan digunakan dalam simulasi. Pada pemodelan ini dilakukan simulasi selama satu tahun dengan interval waktu setiap satu jam.

3.6.5 Pengisian Komponen Time Series Data

Pada komponen ini dilakukan input data curah hujan hasil analisis distribusi hujan jam- jam an menggunakan PSA-007 untuk kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun, 1000 tahun, dan PMP.

3.6.6 Pengisian Komponen Paired Data

Pada model *reservoir routing* diperlukan data berpasangan berupa *rating curve* untuk menggambarkan data hubungan antara elevasi dengan tampungan Waduk Logung. Elevasi pelimpah Bendungan Logung berada pada elevasi +88,5 m, sedangkan elevasi puncak Bendungan Logung berada pada elevasi +94 m (BBWS Pemali Juana, 2015).

3.7. Kalibrasi

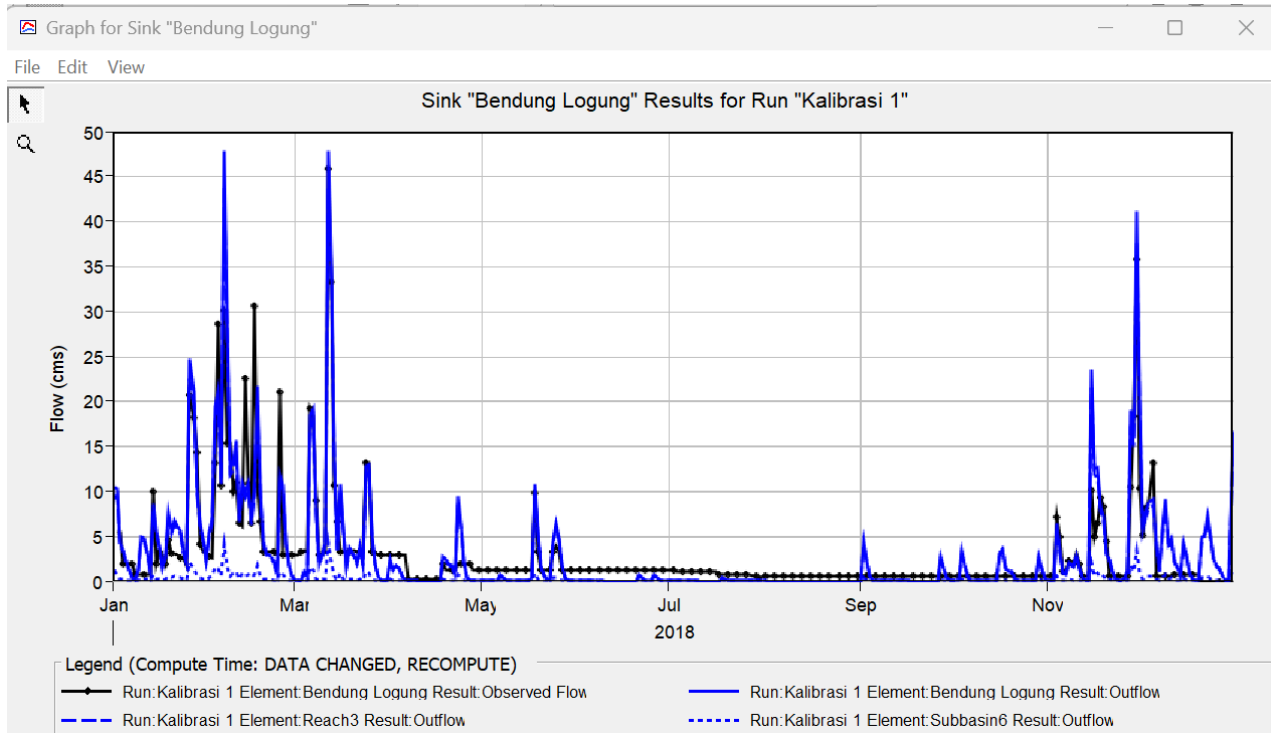
Agar hasil simulasi model mendekati karakteristik DAS di lapangan, maka diperlukan data pembanding sebagai kalibrasi. Dikarenakan pada DTA Waduk Logung tidak terdapat data pencatatan debit, maka *basin model* diperluas sampai ke bagian hilir di mana terdapat AWLR Bendung Logung yang berjarak sekitar 3,5 km

Tabel 1. Kriteria Nilai RMSE, NSE, dan PBIAS setelah Kalibrasi

Metrik Kinerja	Hasil	Kriteria (Moriasi, 2007)	Peringkat Kinerja(Moriasi, 2007)
RMSE	0,6	$0,50 \leq RSR \leq 0,60$	Baik
NSE	0,696	$0,65 < NSE \leq 0,75$	Baik
PBIAS (%)	5,57	$PBIAS < \pm 10$	Sangat Baik

Tabel 10. Perbandingan Hasil Debit Banjir Rencana Waduk Logung antara Studi Perencanaan dengan Hasil Analisis

No.	Kala Ulang (tahun)	Studi Perencanaan (2015) (m³/detik)	Hasil Analisis (2023) (m³/detik)
1	2	82,930	61,100
2	5	92,320	107,100
3	10	147,840	143,900
4	25	189,260	197,300
5	50	224,310	241,700
6	100	263,130	290,200
7	1000	568,800	594,100
8	PMF	878,710	946,500



Gambar 7. Grafik Hasil Kalibrasi Bendung Logung

dari Bendungan Logung seperti ditampilkan pada Gambar 6.

Dikarenakan tidak terdapat data debit jam- jaman maka digunakan debit harian sebagai kalibrasi. Model kalibrasi ini menggunakan perbandingan antara data curah hujan harian Sta Tanjungrejo (Bendung Logung) yang terletak pada 6°46'58.00" LS dan 110°55'1.00" BT dan data debit observasi harian dari AWLR Bendung Logung yang terletak pada 6°46'56.01" LS dan 110°55'0.85" BT dengan periode data sepanjang 1 (satu) tahun periode tahun 2018. Lokasi stasiun hujan dan

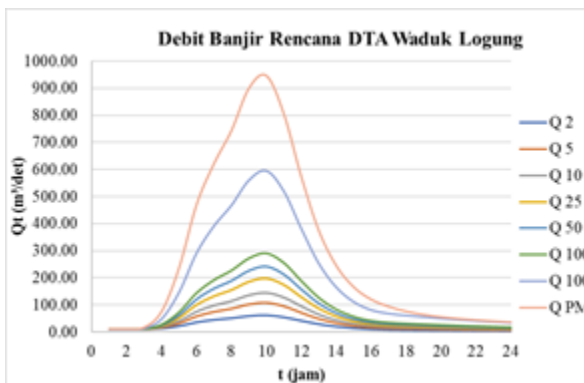
AWLR tersebut saling berdekatan tepatnya berada pada Bendung Logung.

Parameter yang dilakukan kalibrasi yakni parameter loss, transform, dan baseflow. Komponen yang dikalibrasi pada parameter loss yakni Curve Number, untuk parameter transform dilakukan kalibrasi pada komponen *lag time*, sedangkan parameter *baseflow* komponen yang dikalibrasi adalah *recession constant* dan *ratio to peak* dengan batasan kalibrasi seperti ditampilkan pada Tabel 9.

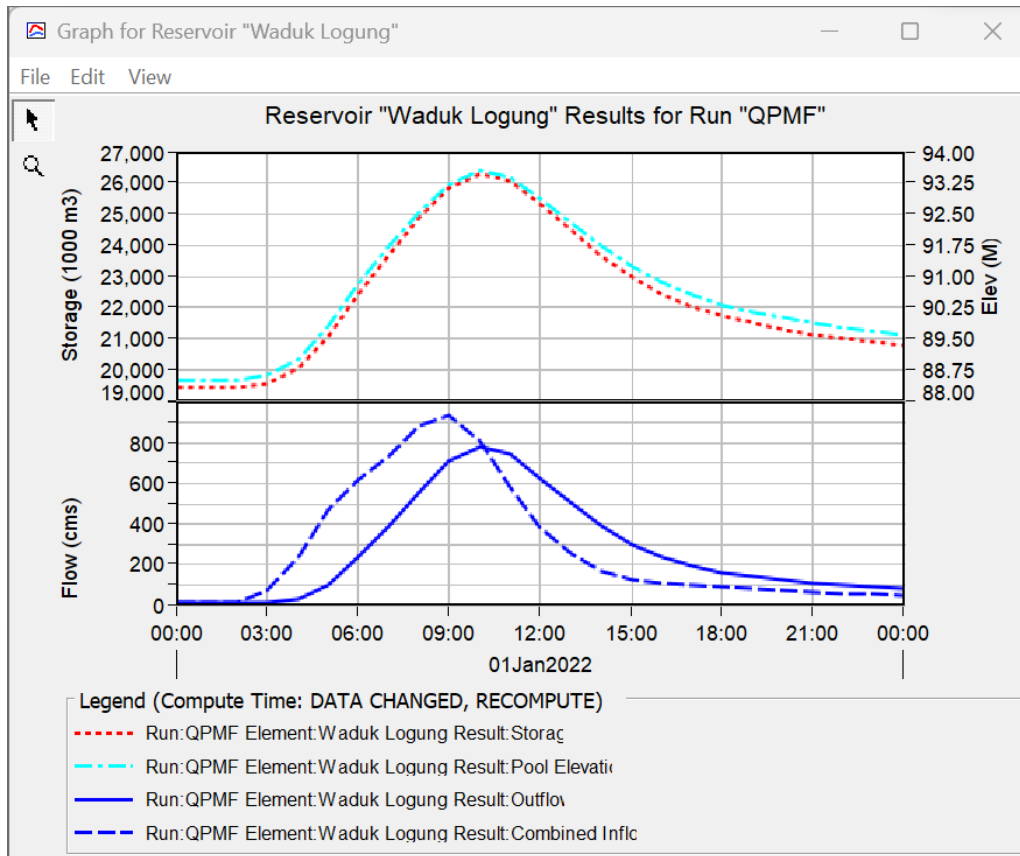
Parameter DTA Waduk Logung hasil dari kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 8. Grafik hasil kalibrasi pada Bendung Logung ditampilkan pada Gambar 7. Setelah dilakukan kalibrasi diperoleh nilai metrik kinerja seperti terlihat pada Tabel 9 di mana nilai RMSE sebesar 0,6 yang menurut D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel (2007) tergolong dalam kriteria Baik, nilai NSE sebesar 0,696 yang tergolong pada kriteria Baik, dan nilai *Percent Bias* sebesar 5,57% yang tergolong dalam kriteria Sangat Baik.

3.8. Hasil Banjir Rencana dengan HEC-HMS

Parameter transform pada basin yang diperoleh dari proses kalibrasi pada Gambar 7 digunakan untuk simulasi pemodelan pada DTA Waduk Logung. Hidrograf banjir rencana dengan HEC-HMS ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Hidrograf Debit Banjir Rencana DTA Waduk Logung Hasil HEC-HMS



Gambar 9. Hidrograf Banjir DTA Waduk Logung Q_{PMF}

Pada Tabel 10 terlihat apabila dibandingkan dengan studi perencanaan pada tahun 2015, secara umum terlihat adanya peningkatan debit pada beberapa kala ulang. Hasil analisis debit banjir PMP pada studi perencanaan sebesar 878,710 m³/detik, sedangkan pada penelitian ini diperoleh 946,5 m³/detik. Adanya peningkatan debit dapat disebabkan oleh peningkatan curah hujan rencana serta perubahan tata guna lahan yang mengakibatkan nilai koefisien pengaliran menjadi semakin besar.

3.9. Hasil Penelusuran Banjir dengan HEC-HMS

Dari hasil penelusuran banjir pada DTA Waduk Logung menggunakan HEC-HMS dapat diketahui bahwa debit puncak Q_{PMF} berada pada elevasi +93,5, di mana elevasi tersebut berada di atas muka air banjir perencanaan +92,85, namun tidak terjadi overtopping sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9. Dengan adanya Bendungan Logung dapat mereduksi banjir Q_{PMF} sebesar 16,43%. Hasil penelusuran banjir untuk setiap kala ulang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 21 Reduksi Debit Banjir pada Waduk Logung

No	Kala Ulang (tahun)	Puncak Inflow (m ³ /detik)	Puncak Outflow (m ³ /detik)	Elevasi Puncak Banjir (m)	Reduksi Banjir (%)
1	2	61,10	34,90	89,10	42,88
2	5	107,10	66,00	89,40	38,38
3	10	143,90	93,50	89,70	35,02
4	25	197,30	135,10	90,10	31,53
5	50	241,70	170,60	90,40	29,42
6	100	290,20	210,40	90,70	27,50
7	1000	594,10	471,00	92,10	20,72
8	PMP	936,00	782,20	93,50	16,43

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hujan rencana pada DTA Waduk Logung dengan seri data hujan yang digunakan sepanjang 14 tahun pada periode 2009 - 2022 terdapat peningkatan besaran hujan rencana pada seluruh kala ulang (R_2 , R_5 , R_{10} , R_{25} , R_{50} , R_{100} , R_{1000} , R_{PMF}) apabila dibandingkan dengan studi perencanaan yang menggunakan periode data hujan tahun 1970 - 2009. Hasil perbandingan peta tata guna lahan antara penelitian dengan studi perencanaan terlihat adanya perubahan di mana terjadi penurunan persentase pada hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, pertanian lahan kering bercampur semak, dan sawah, sementara itu terdapat peningkatan persentase luasan pada pemukiman, pertanian lahan kering, dan tubuh air. Adanya peningkatan curah hujan dan perubahan tata guna lahan di DTA Waduk Logung menyebabkan nilai debit banjir rencana lebih besar dibandingkan dengan studi perencanaan. Dari hasil penelusuran banjir pada Waduk Logung menggunakan HEC-HMS diperoleh debit banjir rencana sebagai berikut : $Q_2 = 61,1 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_5 = 107,1 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{10} = 143,9 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{25} = 197,3 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{50} = 241,7 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{100} = 290,2 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{1000} = 594,1 \text{ m}^3/\text{detik}$; dan $Q_{PMF} = 946,5 \text{ m}^3/\text{detik}$. Bendungan Logung dapat mereduksi debit banjir untuk masing-masing kala ulang sebesar: $Q_2 = 42,88\%$; $Q_5 = 38,38\%$; $Q_{10} = 35,02\%$; $Q_{25} = 31,53\%$; $Q_{50} = 29,42\%$; $Q_{100} = 27,50\%$; $Q_{1000} = 20,72\%$; dan $Q_{PMF} = 16,43\%$. Dari hasil penelusuran banjir diperoleh hasil debit puncak PMF berada pada elevasi +93,5, di mana elevasi tersebut berada di atas muka air banjir +92,85 namun tidak terjadi *overtopping*. Kedepannya diperlukan pencatatan debit jam-jaman terutama pada saat kejadian banjir sehingga dapat digunakan sebagai kalibrasi agar karakteristik DAS pada pemodelan mendekati kondisi di lapangan serta memperoleh nilai kalibrasi yang ideal.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana yang telah membantu dalam pengumpulan data-data yang diperlukan untuk penelitian, serta semua pihak yang turut memberikan masukan dan bimbingan dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

BBWS Pemali Juana. (2015). *Laporan Sertifikasi Desain Bendungan Logung Kabupaten Kudus*.
 Chow, V.T. Maidment, D.R. Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering.

- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(1999\)3:3\(132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(1999)3:3(132))
- D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. V. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885–900.
- Fauzi, M., Handayani, Y. L., & Destiany, A. (2019). Penentuan Parameter Model Tangki Dengan Empat Susunan Seri Pada Daerah Aliran Sungai Rokan. *J.Infras*, 5(2), 85–92.
- Halik, G., Anwar, N., Santosa, B., & Edijatno. (2015). Reservoir inflow prediction under GCM scenario downscaled by wavelet transform and support vector machine hybrid models. *Advances in Civil Engineering*, 2015(Dd). <https://doi.org/10.1155/2015/515376>
- Islami, F. A. (2021). Modul HEC-HMS, Langkah-Langkah Pemodelan Hidrologi Sederhana. In *Modul HEC-HMS* (Issue December).
- Kementerian Pekerjaan Umum. (1999). *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume II*.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No 27, Pub. L. No. 27/PRT/M/2015 (2015).
- Limbong, B., & Wulandari, D. A. (2022). Reservoir Routing di Waduk Greneng, Blora Dengan Model HEC-HMS. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 230–247.
- Munajad, R., & Suprayogi, S. (2016). Kajian Hujan–Aliran Menggunakan Model HEC–HMS di Sub Daerah Aliran Sungai Wuryantoro Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 15(1), 165–175. <https://core.ac.uk/download/pdf/196255896.pdf>
- Nurrizqi, E. H., & Suyono. (2012). *Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Perubahan Debit Puncak Banjir di Sub DAS Brantas Hulu*. 363–371.
- Scharffenberg, W., Ely, P., Daly, S., Fleming, M., & Pak, J. (2010). Hydrologic Modeling System (Hec-Hms): Physically-Based Simulation Components. *2nd Joint Federal Interagency Conference*, 8.
- Soemarto, C. D. (1987). Hidrologi Teknik Edisi Ke - 2. *Penerbit Erlangga, Jakarta.*, 23–34.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. (2000). Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, March, 148.
- USDA NRCS. (2021). Engineering Field Handbook Chapter 2: Estimating Runoff and Peak Discharges. In *National Engineering Handbook*.