

Evaluasi Operasi Banjir Bendungan Kedung Ombo Melalui Penelusuran Banjir Pada Bangunan Pelimpah

Rizko Yumna Satrio^{1*}, Slamet Imam Wahyudi², Moh Faiqun Ni'am³

^{1,2} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung
ryumnasatrio@gmail.com

Abstrak

Sebagai infrastruktur pengendali banjir Bendungan Kedung Ombo dilengkapi sebuah sistem pengoperasian waduk yang disebut operasi banjir. Operasi banjir dimulai saat elevasi muka air waduk (MAW) mencapai elevasi +89,50 mdpl atau disebut elevasi dumping energy level. Pada saat terjadi banjir elevasi MAW terus meningkat hingga limpas melalui pelimpah utama (+90,00 mdpl) hingga pelimpah darurat (93,30 mdpl dan 93,70 mdpl). Pelimpah darurat Kedung Ombo merupakan pelimpah timbunan yang didesain akan runtuh apabila terjadi overtopping 30 cm diatas mercu. Meskipun diperbolehkan untuk runtuh, sebaiknya hal ini harus dihindari karena akan menyebabkan limpasan air waduk yang besar sehingga dapat membanjiri daerah hilir bendungan. Maka dari itu diperlukan upaya analisis dini untuk mengetahui berapa besaran debit inflow yang disyaratkan supaya tidak terjadi keruntuhan pada pelimpah darurat. Metode penelitian yang digunakan dengan melakukan pemodelan DAS dan waduk menggunakan software HEC-HMS. Debit yang digunakan untuk menentukan besaran inflow menggunakan debit desain berbagai kala ulang yang disimulasikan terhadap waduk dan pelimpah (spillway routing) dengan ketentuan pola operasi banjir Kedung Ombo. Hasil penelusuran banjir menunjukkan MAW tidak limpas pada banjir desain Q2, sedangkan waduk limpas melalui pelimpah utama pada banjir desain Q5, Q10, Q20, Q25, Q50, Q100, Q200, Q500, Q1000, dan QPMF. Pada debit banjir QPMF terjadi limpas melalui pelimpah darurat I (+93,30 mdpl) dengan elevasi MAW maksimum +93,58 mdpl. Maka dapat disimpulkan bahwa operasi banjir Kedung Ombo tidak aman terhadap debit inflow QPMF.

Kata kunci: Operasi Banjir, Bendungan, HEC-HMS.

Abstract

As a flood control infrastructure, Kedung Ombo Dam is facilitated with a reservoir operation system called flood operation. Flood operation begins when the reservoir water level reaches +89.50 meters above sea level or called the dumping energy level. During a flood, the water level continues to increase until it spills over through the main spillway (+90.00 masl) to the emergency spillway (93.30 masl and 93.70 masl). The Kedung Ombo emergency spillway is an embankment spillway that is designed to collapse when overtopping by 30 cm above the top of the spillway. Although it is allowed to collapse, this should be avoided because it will cause a large water runoff that can flood the area downstream of the dam. Therefore, early analysis is required to identify the amount of inflow discharge required to avoid collapse of the emergency spillway. The research method used is by modeling the watershed and reservoir using HEC-HMS software. The discharge used to determine the amount of inflow uses the design discharge of various return times simulated against the reservoir and spillway (spillway routing) with the provisions of the Kedung Ombo flood operation. The results of the flood investigation show that reservoir water level does not runoff at the Q2 design flood, while the reservoir runoff through the overtopping of the main spillway at the Q5, Q10, Q20, Q25, Q50, Q100, Q200, Q500, Q1000, and QPMF design floods. In the QPMF flood discharge, runoff occurs through emergency spillway I (+93.30 masl) with a maximum reservoir water level +93.58 masl. So it can be concluded that the Kedung Ombo flood operation is not safe against the QPMF inflow discharge.

Keywords: Flood Operation, Dam, HEC-HMS.

I. PENDAHULUAN

Pola operasi banjir merupakan operasi waduk yang dilakukan pada saat ketinggian elevasi muka air waduk mencapai syarat elevasi operasi banjir [1]. Pola operasi banjir di Waduk Kedung Ombo dapat dilakukan pada saat elevasi muka air waduk mencapai elevasi +89,50 mdpl atau disebut elevasi *dumping energy level*. Pada elevasi tersebut waduk hanya menyisakan tampungan kosong 50 cm dibawah elevasi mercu pelimpah +90,00 mdpl atau volume tampungan pengendali banjir sebesar sebesar 22.009.000 m³ [2].

Bangunan pengeluaran sebagai sarana untuk merilis air perlu diperhatikan kemampuan dan keamanannya supaya terhindar dari kegagalan operasional. Waduk Kedung Ombo memiliki bangunan pengeluaran sejumlah 2 (dua) buah, masing-masing bangunan pengeluaran digunakan untuk pengeluaran air irigasi dengan tipe *Cone Valve* berkapasitas 50 m³/dt dan pengeluaran air untuk PLTA dengan tipe KAPLAN berkapasitas 45 m³/dt, Selain itu, Bendungan Kedung Ombo juga dilengkapi bangunan pelimpah sejumlah 2 (dua) buah, pelimpah utama/*service spillway* bertipe Ogee tanpa pintu dengan elevasi tertinggi mercu +90,00 mdpl dan pelimpah darurat (*emergency spillway I dan II*) bertipe urugan/*broadcasted spillway* dengan elevasi tertinggi mercu masing-masing +93,30 mdpl dan +93,70 mdpl [2].

Pelimpah darurat didesain akan runtuh apabila terjadi limpasan (*overtopping*) apabila ketinggian air (head) 30 cm diatas mercu. Pada saat itu akan terjadi kenaikan muka air waduk setinggi 5 m diatas mercu *service spillway* [3]. Keruntuhan diizinkan untuk menambah debit air yang limpas sehingga tidak membahayakan tubuh bendungan itu sendiri, namun demikian keruntuhan pelimpah darurat ini akan menghasilkan jumlah air bah yang besar sehingga memberikan dampak negatif bagi manusia yang berada di hilir bendungan. Berangkat dari permasalahan tersebut, perlu adanya upaya untuk mengetahui besaran debit inflow yang disyaratkan pelimpah darurat untuk tidak sampai pada keruntuhan.

II. METODOLOGI

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi Bendungan Kedung Ombo berada di batas Kabupaten Grobogan, Kabupaten Boyolali, dan Kabupaten Sragen. Bendungan Kedung Ombo secara administrasi berada di perbatasan Desa Rambat dan Desa Juworo, Kecamatan Geyer, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah, di aliran Sungai Serang, DAS Serang. Secara geografi Bendungan Kedung Ombo terletak pada koordinat 110°50'18" Bujur Timur dan 7°15'33" Lintang Selatan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 [2].



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai sumber diantaranya: (1) Data teknis bendungan yang diperoleh dari BBWS Pemali Juana; (2) Data hujan *groundstation* dari pos hujan yang memiliki data ≥ 20 tahun seperti Stasiun Kalijambe, Karanggede, Stasiun, Sukorejo, dan Semen yang diperoleh dari BBWS Pemali Juana, Balai PSDA Seluna, dan BBWS Bengawan Solo; Data hujan satelit GPM periode tahun 2000-2023 yang diperoleh dari <https://www.giovanni.gsfc.nasa.gov>; Data tutupan lahan yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan; Data jenis tanah yang diperoleh dari Kementerian Pertanian dan *Harmonized World Soil Database (HWSD) Food and Agriculture*; dan studi literatur lainnya yang diperoleh dari jurnal, buku, dan peraturan.

2.3. Analisis Spasial

2.4.1. Peta Topografi

Topografi diperoleh dari data DEM (*Digital Elevation Model*) yang diolah berbasis

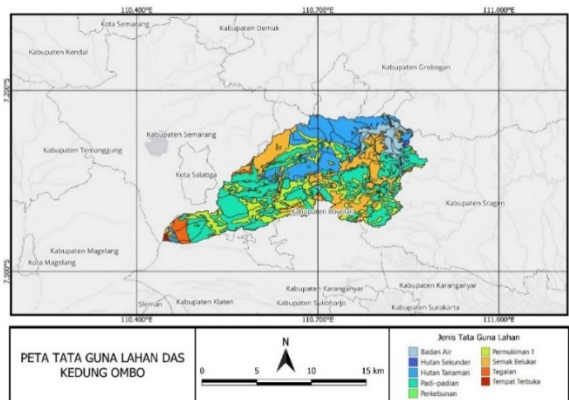
analisis GIS (*Geographic Information System*) dengan bantuan perangkat lunak QGIS [4]. Dari analisis spasial dapat diketahui luas dan bentuk DAS sebesar 587,9 km².

2.4.2. Peta Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan merupakan data vektor yang menunjukkan jenis-jenis penggunaan lahan yang terdapat di daerah kajian [5]. Data tutupan lahan ini dapat diperoleh dari peta rupa bumi indonesia-BIG dan data tutupan lahan Kementerian LHK (lingkungan hidup dan kehutanan). Presentase dan peta tata guna lahan pada DAS Waduk Kedung Ombo dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Prosentase Tutupan Lahan DAS Kedung Ombo

No	Jenis Penutupan Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)
1.	Badan Air	33.674	5.728
2.	Hutan Sekunder	0.948	0.161
3.	Hutan Tanaman	105.579	17.958
4.	Padi-padian	201.634	34.297
5.	Perkebunan	0.461	0.078
6.	Permukiman 1	126.376	21.496
7.	Semak Belukar	103.521	17.608
8.	Tegalan	14.595	2.483
9.	Tempat Terbuka	1.121	0.191
	Total	587.909	100

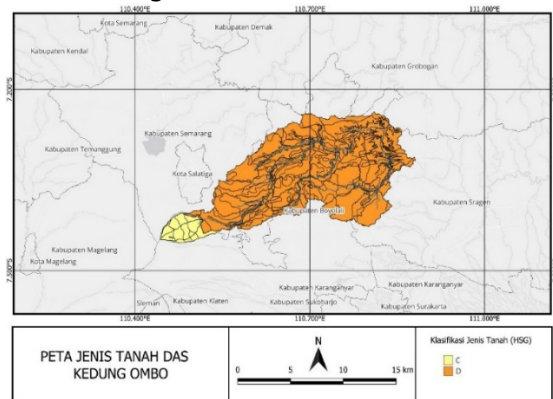


Gambar 2. Peta Tutupan Lahan DAS Kedung Ombo

2.4.3. Peta Jenis Tanah

Peta jenis tanah merupakan peta yang menunjukkan sebaran jenis tanah yang memiliki karakteristiknya masing-masing. Perbedaan jenis tanah menunjukkan perbedaan pada kemampuan infiltrasi terhadap air sehingga mempengaruhi limpasan permukaan. Semakin besar butiran agregat tanah maka semakin besar laju infiltrasinya, sebaliknya semakin kecil butiran agregat maka semakin kecil laju

infiltrasinya [6]. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa jenis tanah di DAS Kedung Ombo didominasi oleh jenis tanah D dengan sifat tanah limpasan agak tinggi dan infiltrasi lambat. Selain itu terdapat sebagian kecil jenis tanah C dengan sifat tanah limpasan tinggi dan infiltrasi sangat lambat.



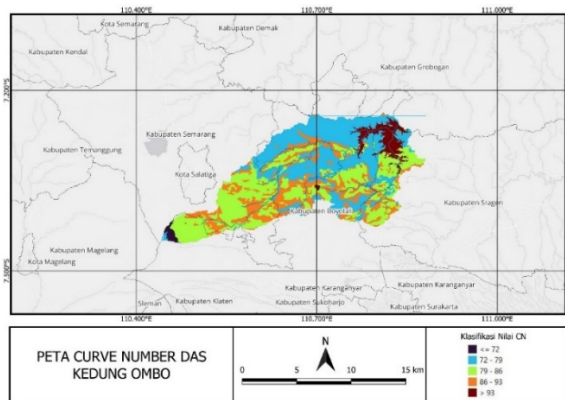
Gambar 3. Peta Jenis Tanah DAS Kedung Ombo

2.4.4. Peta Curve Number

Nilai *curve number* merupakan nilai hasil gabungan parameter tata guna lahan dengan jenis tanah. Nilai *curve number* menunjukkan tingkat kekedapan terhadap air di suatu wilayah, semakin kedap semakin besar nilai *curve number* [7]. Setiap wilayah memiliki nilai *curve number* masing-masing. Pada dokumen *HEC-HMS Technial Reference Manual* pada *apendix A* terdapat tabel yang menunjukkan hubungan nilai CN dengan karakteristik tata guna lahan dan jenis tanah [8]. Nilai *curve number* dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan peta sebaran nilai CN dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Hubungan CN, Tutupan Lahan, dan Jenis Tanah

No.	Penggunaan Lahan	A	B	C	D
1	Hutan Tanaman Industri (HTI)	57	73	82	86
2	Permukiman	61	75	83	87
3	Pertanian Lahan Kering	45	66	77	83
4	Pertanian Lahan Kering Bercampur dengan Semak	35	56	70	77
5	Sawah	62	71	78	81
6	Tambak	98	98	98	98
7	Tanah Terbuka	49	69	79	84
8	Tubuh Air	98	98	98	98
9	Perkebunan	57	73	82	86



Gambar 4. Peta *Curve Number* DAS Kedung Ombo

2.4. Analisis Hidrologi

Dari data hidrologi yang sudah terkumpul selanjutnya dilakukan analisis hidrologi. Tahapan analisis data secara sistematis meliputi:

2.4.1. Uji Statistik Data Hujan

Data hujan memegang peranan penting dalam perencanaan, pengelolaan, dan evaluasi sumber daya air, ketidakakuratan data dapat menyebabkan tidak efisien hingga kegagalan bangunan hidraulik. Untuk menjamin data tetap berkualitas maka diperlukan pengujian data berupa uji statistik data yang meliputi [9]: (1) uji *outlier* metode Grubbs & Becks's untuk memeriksa nilai data apakah jauh dengan nilai data lainnya; (2) uji *independent* metode Wald-Wolfowitz untuk memeriksa data apakah data saling mempengaruhi satu sama lain dalam satu stasiun hujan yang sama; (3) uji *trend* metode Spearman untuk mengetahui apakah data memiliki variasi kecenderungan terhadap waktu [10].

2.4.2. Analisis Frekuensi Hujan Kala Ulang

Analisis frekuensi untuk menghitung hujan setiap kala ulang menggunakan metode GEV (*Generalized Extreme Value*). Berdasarkan Modul 1 Analisis Curah Hujan tahun 2022 oleh Balai Teknik Bendungan, pemilihan metode ini dipilih karena dalam metode ini telah mempertimbangkan faktor perubahan iklim sehingga dapat menghasilkan informasi proyeksi hujan ekstrem beberapa puluh tahun mendatang [11]. Perhitungan hujan rencana metode GEV menggunakan perangkat lunak Hydrognomon 4.

2.4.3. Analisis Hujan PMP (*Probable Maximum Precipitation*)

Hujan berpeluang maksimum atau *Probable Maximum Precipitation* (PMP) merupakan hujan dengan skala terbesar yang mungkin terjadi dalam suatu waktu dalam tahun. Perhitungan hujan PMP mengacu pada pedoman SNI 7746-2012 mengenai perhitungan hujan maksimum boleh jadi/ PMP dengan metode Hershfield [12] melalui persamaan 1.

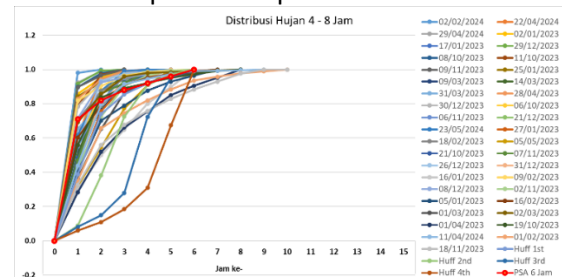
$$X_t = \bar{X}_n + K S_n \quad (1)$$

dengan:

X_t = hujan dengan periode t tahun
 X_n dan S_n = rata-rata dan simpangan baku dari rentetan data hujan harian maksimum tahunan berjumlah n, di pos hujan tertentu

2.4.4. Analisis Distribusi Hujan Badai

Distribusi hujan jam-jaman digunakan untuk mengetahui besaran waktu durasi banjir serta waktu terjadinya puncak banjir. Pemilihan pola distribusi hujan badai mempertimbangkan data pencatatan pos hujan otomatis jam-jaman yang diperoleh dari pos curah hujan Kunti yang berada di DAS Kedung Ombo. Data hujan jam-jaman direkapitulasi berdasarkan jumlah durasi hujan untuk kemudian diperoleh prosentase dari nilai kumulatif masing-masing data hujan, dari data yang diperoleh kemudian dilakukan pemilihan jenis distribusi yang digunakan dengan menyesuaikan pola distribusi dengan pola sebaran hujan. Pada penelitian ini digunakan pola sebaran hujan badai metode PSA-007 berdasarkan rekomendasi 'Petunjuk Teknis Perhitungan Banjir Desain Bendungan' [10]. Hasil distribusi hujan jam-jaman metode PSA-007 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi Hujan Badai Jam-jaman PSA-007

2.5. Analisis HEC-HMS

2.5.1. Parameter Transform

Merupakan metode hidrograf satuan yang digunakan untuk memperhitungkan besarnya limpasan. Metode *transform* yang digunakan yaitu metode *SCS Unit Hydrograph*. Metode ini membutuhkan parameter seperti *lag time* yaitu tenggang waktu antara titik berat hujan efektif dengan titik berat. Metode *lag time* menggunakan persamaan Kirpich [13] seperti berikut:

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right) \quad (2)$$

$$t_{lag} = 0,6 \times T_c \quad (3)$$

dengan :

T_c = *time concentration*

t_{lag} = *time lag* (menit)

L = panjang lintasan maksimum DAS (m)

S = kemiringan sungai (m/m)

2.5.2. Parameter Loss

Merupakan metode yang memperhitungkan kehilangan air hujan oleh infiltrasi, intersepsi, evaporasi, dan limpasan hingga didapat hujan efektif. Hujan efektif (*excess precipitation*) merupakan hujan yang menyebabkan limpasan atau *run off*. Untuk menghitung *loss* menggunakan metode SCS CN (*Soil Conservation Service Curve Number*) yakni metode empiris yang menggunakan pendekatan jenis tutupan lahan (*CN/Curve Number*), abstraksi awal (*Initial Abstraction/Initial Loss*), dan luasan lapisan permukaan yang kedap air (*Impervious*). Perhitungan SCS CN menggunakan persamaan empiris melalui hubungan antara I_a dan S [14] sebagai berikut:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \times CN \quad (4)$$

$$I_a = 0,2 \times S \quad (5)$$

dengan :

CN = *curve number*

S = potensi penyiapan maksimum

I_a = kehilangan mula-mula (*Initial Abstraction*)

2.5.3. Parameter Baseflow

Baseflow merupakan bentuk aliran yang berada di bawah permukaan pada saat limpasan sehingga hidrograf banjir di permukaan dapat terkoreksi. Metode

baseflow yang digunakan yakni metode *recession* dengan asumsi aliran dasar terjadi sepanjang tahun dan memiliki puncak hidrograf pada saruan wakru terkait curah hujan. Metode ini membutuhkan masukan parameter yaitu *initial discharge* (debit awal), *recession constant* (konstanta resesi), dan *ratio to peak*.

2.6. Kalibrasi

Kalibrasi adalah usaha untuk menentukan nilai parameter yang optimum sehingga mendapatkan pemodelan yang mendekati atau sesuai dengan kondisi riil di lapangan. Parameter DAS seperti nilai *curve number*, *lag time*, *baseflow*, *ratio to peak* dilakukan penyesuaian dengan cara *trial and error* sehingga menghasilkan grafik debit atau TMA yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Evaluasi model diukur dengan kajian efisiensi indeks semacam *goodness of fit*. Kriteria evaluasi model yang dipilih melalui uji visual grafik dan uji statistik. Uji visual grafik yakni melihat secara kasat mata apakah grafik hasil simulasi memiliki pola yang menyerupai dengan hidrograf pengamatan, dan uji statistik adalah mengevaluasi hasil grafik dengan parameter statistik seperti Nash & Sutcliffe (NSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan PBIAS. Masing-masing parameter memiliki batas ambang sesuai kriteria penilaian hasil kalibrasi. Nilai kriteria uji statistik dapat dilihat pada Tabel 3 [14].

Tabel 3. Kriteria Penilaian Hasil Kalibrasi

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS
Very good	$0,00 \leq RSR \leq 0,50$	$0,75 < NSE \leq 1$	$PBIAS < \pm 10$
Good	$0,50 \leq RSR \leq 0,60$	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfactory	$0,60 \leq RSR \leq 0,70$	$0,50 < NSE \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Unsatisfactory	$RSR > 0,70$	$NSE \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Uji Statistik Data Hujan

Data hujan *groundstation* Stasiun Kalijambe, Karanggede, Stasiun, Sukorejo, Semen, dan data hujan satelit GPM disaring melalui uji statistik menunjukkan data yang konsisten terhadap adanya *outlier*, *independent*, dan *trend*. Melalui parameter

statistik pengujian data maka data hujan dapat digunakan dalam analisis selanjutnya.

3.2. Analisis Frekuensi Hujan Kala Ulang

Data hujan dari masing-masing stasiun hujan *groundstation* dan hujan satelit GPM dianalisis menjadi hujan rencana berbagai kala ulang dengan menggunakan aplikasi hydrognomon 4. Distribusi hujan yang dipilih menggunakan metode GEV (*Generalized Extreme Value*) karena metode ini telah mempertimbangkan faktor perubahan iklim sehingga dapat menghasilkan informasi proyeksi hujan ekstrim beberapa puluh tahun mendatang. Hasil distribusi hujan kala ulang dari masing-masing stasiun hujan dapat dilihat pada Tabel 5.

3.3. Analisis Hujan PMP (*Probable Maximum Precipitation*)

Perhitungan hujan maksimal boleh jadi/*Probable Maximum Precipitation* (PMP) menggunakan metode Hershfield. Analisis ini sudah memperhitungkan nilai ARF (*Area Reduction Factor*) sebagai faktor penyesuaian hujan terhadap DAS. Rekapitulasi hasil perhitungan hujan PMP dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hujan PMP DAS Kedung Ombo

Pos Hujan	PMP (mm)
Karang Gede	493.11
Semen	562.72
Sukorejo	745.63
Kalijambe	676.86
GPM 1	434.72
GPM 2	405.53
GPM 3	492.90
GPM 4	403.63
GPM 5	403.42
GPM 6	490.23

3.4. Analisis Sebaran Hujan Badai

Sebaran hujan badai mengacu pada data hujan jam-jaman yang terjadi di DAS Waduk Kedung Ombo. Diketahui durasi hujan jam-jaman yang terjadi berkisar antara 4-8 jam, kemudian ditentukan pola distribusi hujan menggunakan metode PSA-007 selama 6 jam. Hasil distribusi hujan pada DAS Waduk Kedung Ombo disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 5. Rekapitulasi Analisis Distribusi Hujan Rencana DAS Kedung Ombo

Pos Hujan	Kala Ulang									
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000
Karang Gede	99	118	131	142	146	156	167	177	190	199
Semen	99	122	137	150	154	166	178	190	204	215
Sukorejo	137	169	191	212	218	239	259	280	307	328
Kalijambe	122	151	169	184	189	203	216	229	244	255
GPM 1	73	90	99	107	110	117	123	128	134	139
GPM 2	81	95	103	110	112	118	123	127	132	136
GPM 3	85	104	115	125	128	137	146	154	163	170
GPM 4	72	87	96	105	108	117	125	133	144	151
GPM 5	77	92	100	107	109	115	121	126	131	135
GPM 6	89	108	118	127	104	138	145	151	158	163

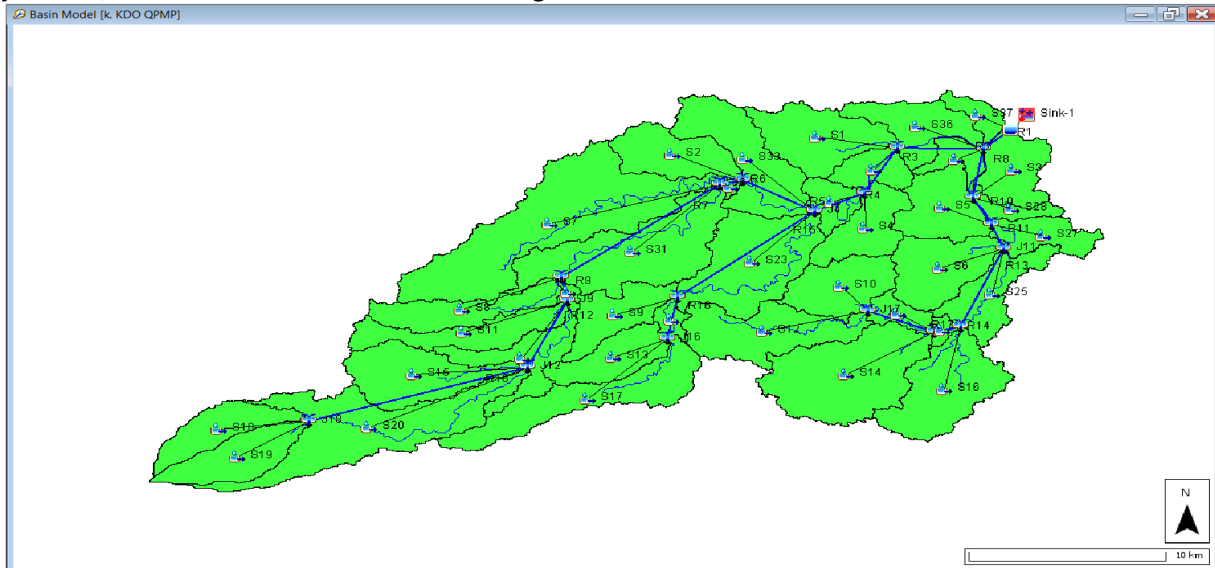
Tabel 6. Distribusi Hujan DAS Waduk Kedung Ombo Durasi 6 Jam

Jam ke-	Kala Ulang (Tr) (Tahun)										
	2	5	10	20	25	50	100	200	500	1000	PMP
1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
2	11.0	11.3	12.0	12.2	12.3	13.0	13.3	13.7	14.0	14.3	16.0
3	71.0	70.0	68.0	67.3	67.0	65.0	64.0	63.0	62.0	61.0	56.0
4	6.0	6.7	8.0	8.4	8.7	10.0	10.7	11.3	12.0	12.7	16.0
5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
6	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

3.5. Pemodelan HEC-HMS

Pemodelan HEC-HMS terdiri dari pembuatan model dan running model. Pembuatan model merupakan tahapan dalam memasukan parameter DAS wilayah kajian. Pemodelan DAS Waduk Kedung Ombo menghasilkan elemen-elemen DAS diantaranya 37 buah sub DAS, 17 buah *junction*, dan 1 buah waduk eksisting.

Pemodelan DAS dapat dilihat pada Gambar 6. Pemodelan DAS yang dihasilkan menggunakan hujan rencana kala ulang yang telah didistribusikan jam-jaman dengan PSA-007 sebagai variabel bebas dalam penelitian. Parameter yang digunakan pada peneletian ini mempehitungkan paramater *Loss Methode*, *Transform Methode*, dan *Baseflow Methode*.



Gambar 6. Pemodelan DAS Kedung Ombo dengan HEC-HMS

3.6. Analisis Paramater DAS dan Bendungan

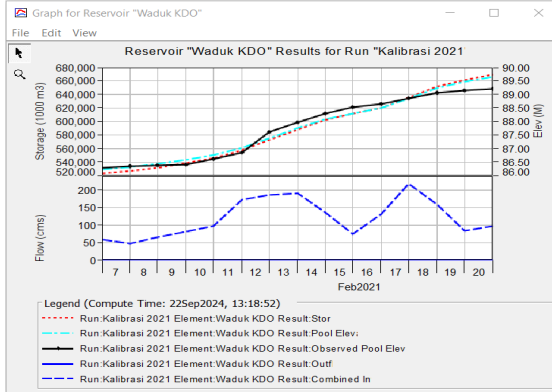
Penelusuran banjir pada DAS Kedung Ombo dilakukan dengan memasukan parameter masing-masing sub DAS. Parameter *Transform* menggunakan metode *SCS Unit Hydrograph* dengan memperhitungkan nilai panjang sungai dan kemiringan lereng dengan mengacu pada persamaan 1. Parameter *Loss* menggunakan metode *SCS Curve Number* dengan memperhitungkan nilai CN dan *Impervious* sehingga didapat nilai *Initial abstraction* yang mengacu pada persamaan 2. Parameter *Baseflow* menggunakan metode *recession* dengan *Initial Type* dipilih *Discharge* 0,1 (m^3/s). *Treshhold Type* dipilih *ratio to peak* sebesar 0,6 dan *recession constant* sebesar 0,2. Hasil analisis paramater masing-masing sub DAS ditampilkan pada Tabel 7.

Penelusuran banjir pada pelimpah dilakukan dengan memasukan data teknis bendungan pada elemen *reservoir*. Data

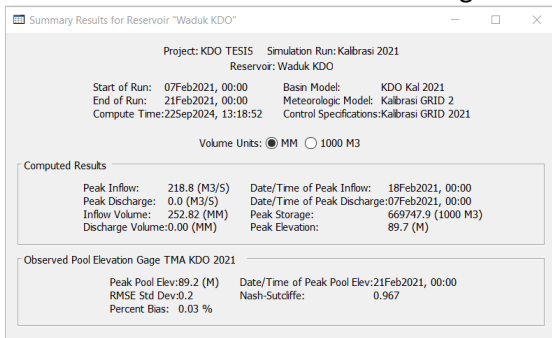
seperti dimensi bendungan, kurva tampungan waduk, jumlah serta tipe bangunan *outlet* dan *spillway*.

3.7. Kalibrasi

Kalibrasi pemodelan banjir dapat dilakukan dengan mengevaluasi data debit waduk observasi dengan data hujan dari stasiun hujan yang mewakili keseluruhan area DAS yang disimulasikan dalam satu periode waktu. Sebelum dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai parameter statistik. Selanjutnya penentuan kalibrasi menggunakan data pencatatan TMA waduk tanggal 07 - 21 Februari 2021. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 7 dan nilai parameter statistik dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil optimasi parameter HEC-HMS menunjukkan nilai parameter statistik R2, NSE, dan PBIAS masuk dalam kategori sangat baik dan dapat digunakan untuk pemodelan.



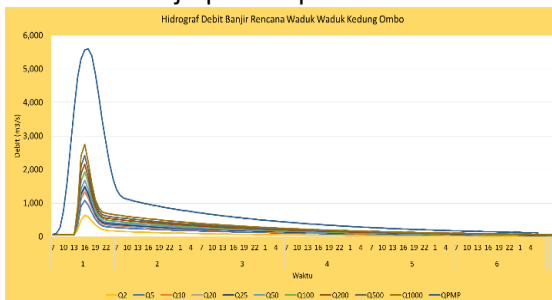
Gambar 7. Kalibrasi Model DAS Kedung Ombo



Gambar 8. Nilai Parameter Statistik DAS Kedung Ombo

3.8. Perhitungan Banjir Rencana

Hasil analisis berupa data hidrograf banjir yang memiliki nilai debit puncak banjir dan waktu kejadian banjir pada masing-masing kala ulang banjir pada masing-masing kala ulang Q2, Q5, Q10, Q20, Q25, Q50, Q100, Q200, Q500, Q1000, dan QPMF. Hasil perhitungan banjir rencana pada masing-masing kala ulang di DAS Kedung Ombo dirangkum dan disajikan pada Gambar 9 dan nilai debit banjir puncak pada Tabel 8.



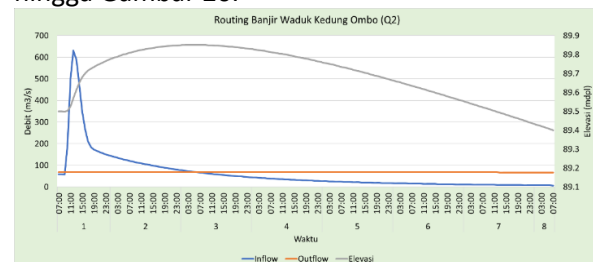
Gambar 9. Debit Banjir Rencana Waduk Kedung Ombo

Tabel 7. Debit Banjir Rencana Waduk Kedung Ombo

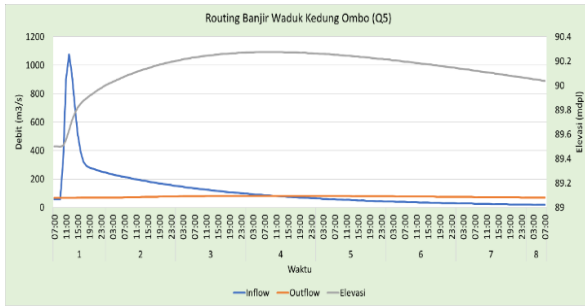
Periode Ulang (Tahun)	Inflow Banjir (m ³ /det)
2	630.75
5	1075.4
10	1326.5
20	1427.4
25	1497.9
50	1680.8
100	1924.9
200	2151.6
500	2420.3
1000	2749.6
PMF	5602.6

3.9. Simulasi Operasi Banjir

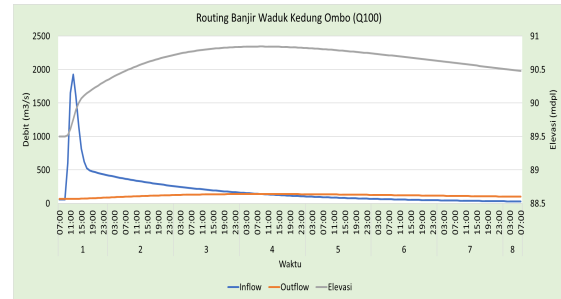
Simulasi pola operasi banjir eksisting dilakukan dengan menurunkan muka air waduk pada kondisi elevasi awal elevasi *dumping energy level* +89,50 mdpl. Simulasi ini mempertimbangkan tinggi muka air waduk maksimal yang diijinkan dibatasi pada elevasi mercu *emergency spillway I* yakni +93,30 mdpl, elevasi diatas itu tidak disarankan karena akan menghasilkan jumlah air bah yang akan membanjiri daerah hilir bendungan. Pada HEC-HMS dimasukan data hujan dari masing-masing hujan kala ulang pada Tabel 1 dan didistribusikan dengan distribusi hujan PSA-007 pada Tabel 2. Setelah memasukan parameter hujan kemudian *run* HEC-HMS sehingga didapatkan simulasi waduk (*reservoir routing*) dari hidrograf debit *inflow*, debit *outflow* melalui *outlet*, dan tinggi elevasi muka air waduk dari masing-masing banjir kala ulang. Hasil simulasi akan menghasilkan bentuk hidrograf banjir dari elevasi, *inflow*, dan *outflow* dapat dilihat pada Gambar 10 hingga Gambar 20.



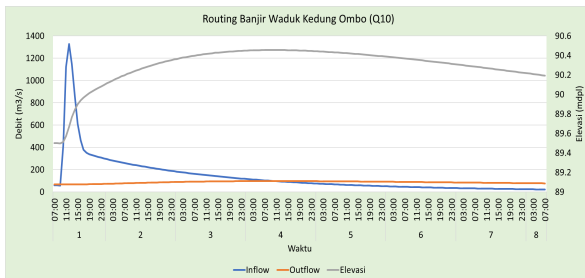
Gambar 10. Routing Banjir Kedung Ombo Q2



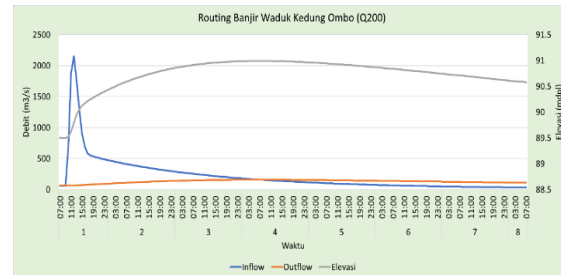
Gambar 11. Routing Banjir Kedung Ombo Q5



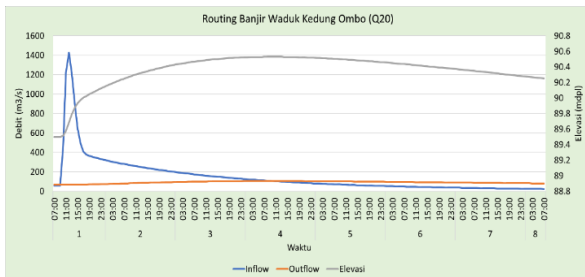
Gambar 16. Routing Banjir Kedung Ombo Q100



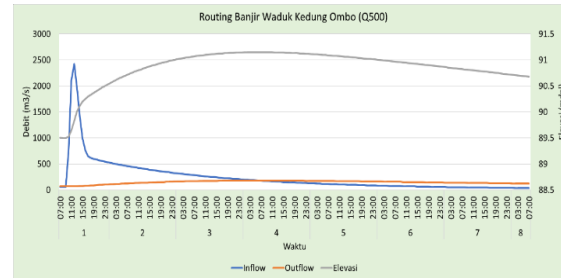
Gambar 12. Routing Banjir Kedung Ombo Q10



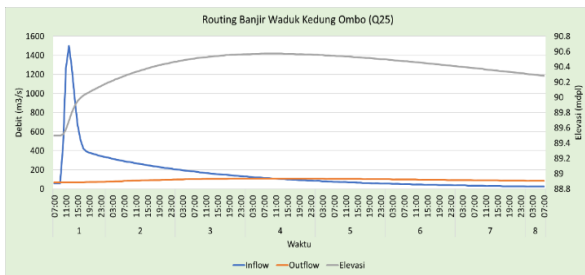
Gambar 17. Routing Banjir Kedung Ombo Q200



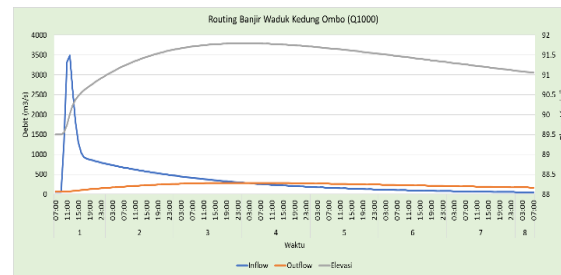
Gambar 13. Routing Banjir Kedung Ombo Q20



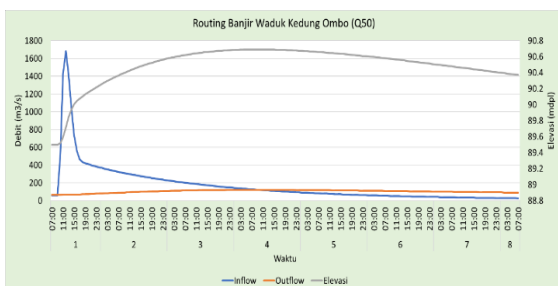
Gambar 18. Routing Banjir Kedung Ombo Q500



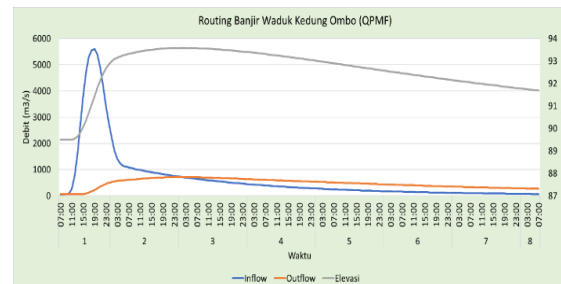
Gambar 14. Routing Banjir Kedung Ombo Q25



Gambar 19. Routing Banjir Kedung Ombo Q1000



Gambar 15. Routing Banjir Kedung Ombo Q50



Gambar 20. Routing Banjir Kedung Ombo QPMF

Berdasarkan hidrograf elevasi, *inflow*, dan *outflow* (Gambar 10 sampai Gambar 20) didapatkan waduk tidak limpas pada banjir desain Q2, sedangkan waduk limpas melalui *service spillway* pada banjir desain Q5, Q10, Q20, Q25, Q50, Q100, Q200, Q500, Q1000, dan QPMF. Pada debit banjir QPMF terjadi limpas melalui *emergency spillway I* dengan elevasi maksimum +93,58 mdpl. Limpas pada *emergency spillway I* harus dihindari karena pelimpah ini merupakan pelimpah dengan tipe jenis urugan yang didesain akan runtuh

apabila air melewati bagian atas mercu pelimpah (*overtopping*). Maka dapat disimpulkan bahwa pada operasi banjir eksisting bendungan tidak aman terhadap debit banjir PMF, perlu dilakukan penurunan muka air waduk lebih rendah dari elevasi *dumping energy level* (+98,50 mdpl) untuk mempersiapkan tampungan yang lebih besar guna menampung debit banjir desain QPMF. Rangkuman hasil analisis pemodelan operasi banjir untuk setiap banjir rencana kala ulang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rangkuman Hasil Simulasi Operasi Banjir Eksisting pada Banjir Berbagai Kala Ulang

Kala Ulang (tahun)	Inflow (m ³ /s)	Elevasi Awal Waduk (mdpl)	Elevasi Tertinggi Waduk (mdpl)	Outflow (m ³ /s)			Keterangan	
				Outlet	Service (+90.00 mdpl)	Emergency I (+93.30 mdpl)		Emergency II (+93.70 mdpl)
2	630.75	89.50	89.85	70.00	0	0	0	Aman
5	1075.40	89.50	90.27	70.00	12.61	0	0	Aman
10	1326.50	89.50	90.46	70.00	26.98	0	0	Aman
20	1427.40	89.50	90.53	70.00	33.88	0	0	Aman
25	1497.90	89.50	90.57	70.00	38.03	0	0	Aman
50	1680.80	89.50	90.69	70.00	50.42	0	0	Aman
100	1924.90	89.50	90.84	70.00	68.18	0	0	Aman
200	2151.60	89.50	90.99	70.00	86.79	0	0	Aman
500	2420.30	89.50	91.15	70.00	108.33	0	0	Aman
1000	2749.60	89.50	91.34	70.00	136.16	0	0	Aman
PMF	5602.60	89.50	93.58	70.00	596.55	38.16	0	Tidak Aman

IV. KESIMPULAN

Pada operasi banjir eksisting diperlukan penurunan waduk pada elevasi +89,50 mdpl (elevasi *dumping energy level*). Operasi banjir ini menghasilkan air waduk limpas melalui *service spillway* pada banjir desain Q5, Q10, Q20, Q25, Q50, Q100, Q200, Q500, Q1000, dan QPMF. Pada debit banjir QPMF terjadi limpas melalui *emergency spillway I* dengan elevasi maksimum +93,58 mdpl. Limpas pada *emergency spillway I* harus dihindari karena pelimpah ini merupakan pelimpah dengan tipe jenis urugan yang didesain akan runtuh apabila air melewati bagian atas mercu pelimpah (*overtopping*). Hal ini menunjukkan bahwa operasi banjir eksisting tidak aman terhadap *inflow* debit QPMF.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian PUPR, "Modul 7 : Sistem Informasi Banjir," Bandung, Sep. 2017.
- [2] BBWS Pemali Juana, "Laporan Pedoman O&P Bendungan Kedungombo," Semarang, Dec. 2021.
- [3] P. Subagyo, "Diskripsi Singkat Bendungan Kedungombo," Jakarta, Oct. 2009.
- [4] M. D. P. Gupta, R. Haribowo, and T. Budi Prayogo, "Studi Penentuan Status Mutu Air Menggunakan Metode Indeks Pencemaran Dan WQI Di Tukad Badung, Denpasar," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 11, no. 2, pp. 83–93, Nov. 2020, doi: 10.21776/ub.pengairan.2020.011.02.02
- [5] Nurhamidah, A. Junaidi, and M. Kurniawan, "Tinjauan Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan

- Permukaan (Kasus : DAS Batang Arau Padang),” *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 14, no. 2, pp. 131–138, Oct. 2018.
- [6] J. K. Nasjono, “Keandalan Metode Soil Curve Conservation Services-Curve Number untuk Perhitungan Debit Puncak pada DAS Manikin,” 2018.
- [7] A. Noor Annisa Ramadan, D. Nurmayadi, A. Sadili, R. Rizaldy Solihin, and Z. Sumardi, “Studi Penentuan Nilai Curve Number DAS Pataruman berdasarkan Satuan Peta Tanah Indonesia,” 2020.
- [8] K. Frida Sulistiyani and R. Rambu Dulu Mosa, “Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual CPD-74B,” Washington, 2000.
- [9] A. Bagiawan, S. Mulat Yuningsih, and D. Windatiningsih, “Pengujian Data Hidrologi Dalam Rangka Peningkatan Efektifitas dan Efisiensi Pengelolaan Sumber Daya Air,” *Jurnal Sumber Daya Air*, vol. 7, no. 1, 2011.
- [10] Kementerian PUPR, “Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir pada Bendungan,” Jakarta, Mar. 2017.
- [11] Kementerian PUPR, “Modul 1 : Analisis Curah Hujan,” 2022.
- [12] Badan Standarisasi Nasional, “Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hersfield,” Jakarta, 2012.
- [13] Z. P. Kirpich, “Time of concentration of small agricultural watersheds,” *Civil engineering*, vol. 10, no. 6, p. 362, 1940.
- [14] Wiliya and U. Lasminto, “Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model Hec-HMS Di DAS Bengawan Solo Hulu,” *Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 20, no. 2, pp. 193–198, 2022.