

Reservoir Routing di Waduk Greneng, Blora Dengan Model HEC-HMS

Benson Limbong*¹, Dyah Ari Wulandari²,

^{1,2} Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

Submitted : 20, July, 2022;

Accepted: 18, September, 2022

Abstrak

Reservoir routing (Penelusuran banjir) di waduk Greneng, Blora merupakan salah satu kegiatan dalam Project DOISP (*Dam Operational Improvement Safety Project*) di lingkungan BBWS Pemali Juwana tahun 2020-2022, yang bertujuan untuk mengembalikan tingkat keamanan, kinerja operasi dan umur ekonomis bendungan, termasuk pengurangan resiko bencana banjir terhadap masyarakat di hilir. Pembuatan model penelusuran banjir di waduk diperlukan sebagai tinjauan terhadap keandalan waduk dalam menghadapi debit banjir (*inflow*). Model dibuat dengan software HEC-HMS, dimana transformasi hujan menjadi aliran permukaan dibuat dengan metode *Soil Conservation Services - Curve Number* (SCS-CN) dan model penelusuran banjir waduk dibuat dengan metode *Outflow Structure*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui debit banjir (*inflow*) yang masuk ke waduk dan melakukan penelusuran banjir di waduk untuk tiap hujan rencana kala ulang 2,5,10,20,50, 100,200,500 dan 1000 tahun. Dari hasil penelusuran banjir, diperoleh nilai debit banjir tertinggi terjadi yang masuk ke Waduk Greneng pada hujan kala ulang 2,5,10,20,50,100,200,500 dan 1000 tahun berurutan: 10,9m³/det; 18,5m³/det; 23m³/det; 26,9m³/det; 31,4m³/det; 34,3m³/det; 37,3m³/det; 40,8 m³/det; dan 43,4m³/det. Debit banjir yang masuk mampu direduksi oleh waduk Greneng menjadi debit *outflow* maksimum berurutan : 3m³/det; 4,3m³/det; 5,1m³/det; 5,8m³/det; 6,6m³/det; 7,2m³/det; 7,7m³/det; 8,4m³/det; 8,9 m³/detik. Tidak terjadi kejadian *overflow dam top* pada simulasi banjir ini, dengan elevasi maksimum air di waduk saat debit banjir maksimum mencapai level +121,6 m, dan kapasitas tampungan waduk maksimum saat debit banjir sebesar 2172,5 x 10³ m³. Waduk Greneng mampu menurunkan debit banjir sebesar rerata 22,03%.

Kata Kunci : penelusuran banjir; Waduk Greneng; reduksi debit banjir, kala ulang.

Abstract

Flood routing of the Greneng reservoir, Blora is one of the object in the DOISP Project (Dam Operational Improvement Safety) in the Pemali Juwana River Basin Commission (2020-2022), with goals to: restore the level of safety, operational performance and economic life of the dam, including reducing flood risk towards the downstream community. The creation of a flood tracking model in the reservoir is needed as a review of the reliability of the reservoir in dealing with peak / flood discharge. The model was

made with HEC HMS software, in which rainfall-run off model was made by using SoilConservation Services - Curve Number (SCS-CN) method and reservoir routing model was made by using Outflow Structure Method. The goal of this research is to conduct reservoir routing based on peak discharge of 2,5,10,20,50,100,200,500, 1000 rainfall years return period. From the results of the reservoir routing, they were found that the maximum flood discharge entered the Greneng Reservoir during the 2.5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 and 1000 year return rains are respectively: 10.9 m³/sec; 18.5m³/s; 23m³/s; 26.9m³/s; 31.4m³/s; 34.3m³/s; 37.3m³/s; 40.8 m³/s; and 43.4m³/s, which they could be reduced by the Greneng reservoir to a maximum outflow discharge sequentially: 3m³/s; 4.3m³/s; 5.1m³/s; 5.8m³/s; 6.6m³/s; 7.2m³/s; 7.7m³/s; 8.4m³/s; 8.9 m³/sec.. There is no overtopping event on the dam top, with maximum elevation at peak inflow is +121,6 m, maximum storage of pool is 2172,5 x 10³ m³. The Greneng reservoir is able to reduce peak discharge by an average of 22,03%.

Keywords : *flood routing; Greneng reservoir; peak discharge reduction; return period*

A. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang bersifat terbarukan (*renewable*), yang keberadaannya terbatas oleh waktu (musim), ruang (lokasi), jumlah (kuantitas) mutu (kualitas), dan mengikuti siklus hidrologi. Hal ini mendasari perlunya pembuatan dan pemeliharaan bendungan, yang mana salah satu fungsinya adalah menampung kelebihan air di musim penghujan dan mengurangi potensi banjir di wilayah hilir.

Adanya perubahan tata guna lahan di hulu waduk dapat menyebabkan terjadinya sedimentasi yang terbawa sampai ke waduk. Sedimentasi mengakibatkan daya tampung waduk berkurang. Menurut USGS (2016), laju sedimen dari suatu daerah tangkapan air selama satu peristiwa banjir besar dapat mencapai lebih dari setengah dari total sedimen terangkut yang dihasilkan sepanjang tahun. Hal ini mendasari perlunya metode untuk mengurangi sedimentasi yang terjadi di waduk.

Terkait dengan hal di atas, khusus di Waduk Greneng, Blora, pengerukan sedimen yang dilakukan pihak pengelola

waduk terakhir kali dilakukan pada tahun 2014, sehingga perlu dilakukan studi keandalan waduk terhadap debit banjir rencana dengan kondisi kapasitas waduk actual yang ada saat ini. (<https://sda.pu.go.id/balai/bbwspemalijua/na/pages/posts/49-miliar-untuk-perbaikan-waduk-greneng-1612877479>).

Menurut Adhi Susilo dkk (2016) dalam kehidupan, banjir merupakan musibah yang cukup sering menelan kerugian materi dan jiwa. Untuk itu banyak yang meneliti tentang pergerakan banjir dan pemantauan banjir, baik di sungai maupun lewat kolam penampungan (*reservoir*). Kolam penampungan adalah suatu kolam yang akan menampung air di kala musim hujan dan memanfaatkannya di kala musim kemarau. Dilihat dari kejadiannya maka kolam penampungan ada yang alami (danau), dan ada yang dibangun oleh manusia (waduk).

Banjir yang terjadi di hilir Waduk Greneng, seperti banjir pada November 2021 di Kecamatan Cepu dan Kradenan mengakibatkan ratusan rumah terendam air dan ribuan warga dievakuasi, menyebabkan kerugian besar materiil

maupun non materiil (<https://jateng.inews.id/berita/diguyur-hujan-lebat-ratusan-rumah-di-blora-jateng-terendam-banjir>).

Hal ini menjadi perhatian agar dapat mengantisipasi kejadian serupa di masa mendatang. Salah satu langkah antisipasi adalah melakukan perhitungan penelusuran banjir/ *reservoir routing* untuk melihat keandalan waduk Greneng dalam menurunkan debit puncak banjir.

Project DOISP (Dam Operational Improvement Safety Project) tahun 2020-2022 di lingkungan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali Juwana bertujuan untuk melakukan inventarisasi dan penguatan serta sasaran berupa: pengurangan jumlah bendungan yang beresiko tinggi, peningkatan kinerja bendungan dalam penyediaan air baku, peningkatan umur ekonomis bendungan melalui perbaikan/ rehabilitasi/ penggantian dan/atau pekerjaan remedial serta penguatan kerangka pengaturan dan administrasi bendungan. yang bertujuan untuk mengembalikan tingkat keamanan, kinerja operasi dan umur ekonomis bendungan besar, termasuk pengurangan resiko bencana banjir terhadap masyarakat dihilir.

Salah satu bendungan yang menjadi sasaran proyek ini adalah Bendungan Greneng. Bendungan Greneng dibangun tahun 1919 oleh Pemerintah Kolonial Belanda. Sumber air Waduk Greneng berasal dari Sungai Gowak atau Sungai Kuntulan. Daerah tangkapan air/ DTA di hulu Waduk Greneng 4,99 km². Waduk mampu menampung air sebanyak 2,30 juta m³ dalam kondisi normal. Bendungan Greneng berfungsi sebagai tampungan air di musim hujan, mereduksi besaran banjir puncak (pengendali banjir), mengairi irigasi teknis areal persawahan seluas 251 hektar, perikanan ikan air tawar, serta areal konservasi air terutama untuk memenuhi kebutuhan air baku bagi

masyarakat sekitar. (<http://www.pusdataru.jatengprov.go.id/potensi/waduk/greneng.htm>). Peta lokasi waduk Greneng dapat dilihat di Gambar 1.

Laporan Spesial Studi Waduk Greneng (PT. Tata Guna Patria, 2012) menyebutkan bahwa sedimentasi selama periode tahun 1919~1974 sebesar 0,982 mm/tahun adalah cukup kecil. Hal ini mengindikasikan kondisi hutan (penutup lahan) DTA masih sangat baik. Lalu pada periode 1974~1992 laju sedimentasi menjadi sebesar 17,749 mm/tahun adalah sangat besar. Hal ini mengindikasikan adanya kerusakan hutan pada DTA. Sedangkan pada periode 1992~2012 laju sedimentasi sebesar 1,155 mm/tahun dikarenakan telah dilakukan reboisasi yang berhasil dengan baik.

Hal lain yang perlu diantisipasi adalah saat memasuki musim hujan, debit banjir tertinggi dapat mengakibatkan kejadian *overtopping*/ air melimpas dari *dam top* bendungan akibat volume tampungan waduk yang sudah berkurang dan kapasitas bangunan *spillway/outlet* tidak mampu melewati debit banjir.

Menurut Chow et al. (1988), penelusuran aliran adalah suatu cara untuk menentukan besarnya debit aliran dan waktu terjadinya debit tersebut pada suatu titik di sepanjang aliran sungai dengan menggunakan hidrograf aliran di daerah hulu titik tersebut. Jika aliran tersebut merupakan banjir (*flood*), maka disebut penelusuran banjir (*flood routing*).

Penelusuran aliran banjir adalah prosedur untuk menentukan waktu dan debit aliran (hidrograf banjir) di suatu titik aliran berdasarkan hidrograf yang diketahui di sisi hulu. Tujuan dari penelusuran banjir adalah mengetahui karakteristik banjir yang masuk ke dalam suatu waduk dalam rangka pengendalian banjir (Trihatmojo, 2008).

Banjir yang terjadi di sungai (hilir bendungan) terjadi bila debit yang melimpas melebihi kapasitas tampang aliran sungai, yang dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Karena pengaruh perubahan iklim, banjir besar dapat terjadi kapan saja dan waktu kejadiannya tidak dapat terprediksi dengan pasti. Karena alasan di atas maka diperlukan pemodelan hujan menjadi aliran limpasan untuk prediksi debit banjir yang terjadi dan masuk ke dalam suatu waduk (Galoiel, et al, 2014).

Spillway pada waduk berfungsi untuk melepaskan bagian banjir yang tidak bisa ditampung. Tampungan puncak banjir dalam waduk akan mengurangi debit dan elevasi muka air banjir di bagian hilir waduk. Tingkat perlindungan banjir dari waduk ini tergantung dari hubungan beberapa faktor yaitu karakteristik puncak banjir, kapasitas tampungan dan operasi bangunan outlet spillway (Subramanya, 2008).

Operasional waduk sebagai pengendali banjir juga bergantung pada peramalan debit banjir yang masuk ke dalam waduk. Waduk sebagai pengendali banjir berfungsi untuk menahan semua atau sebagian air banjir dalam tampungannya dan mengalirkan sesuai dengan kapasitas sungai atau saluran di hilir (Anderson et al, 2002).

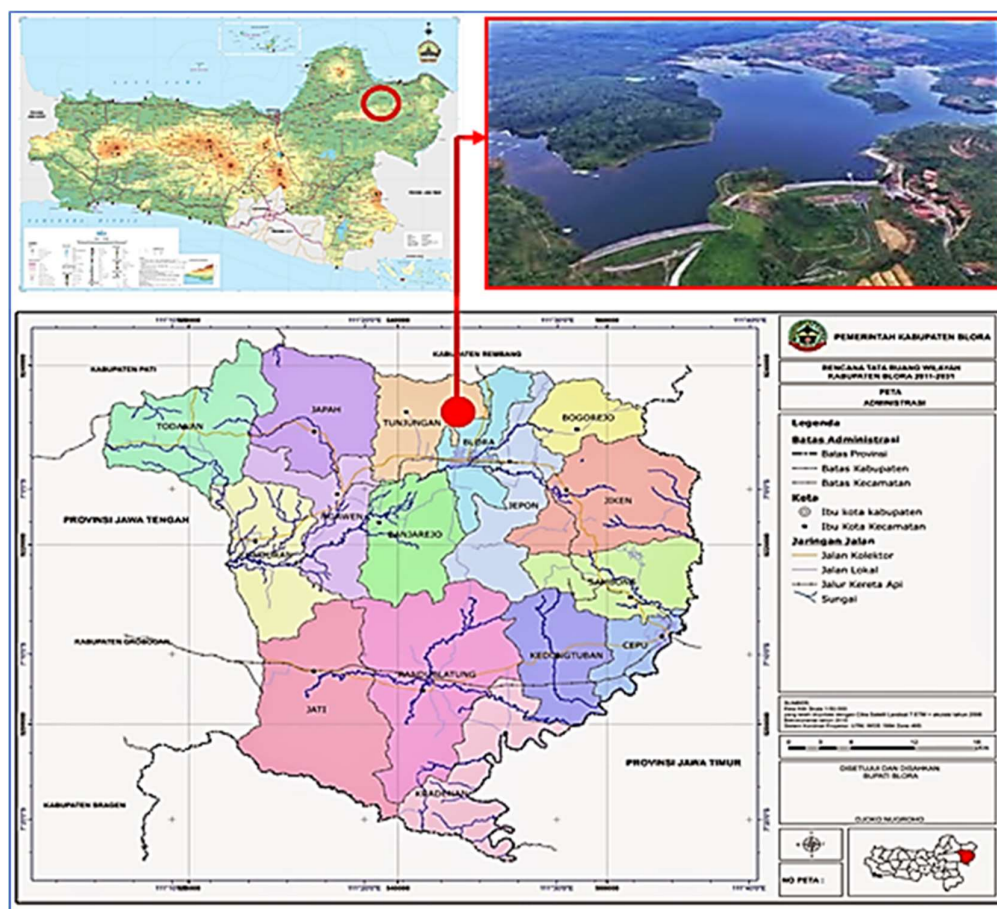
Peramalan penelusuran banjir di waduk dapat dianalisis dengan model HEC HMS *reservoir routing*. Model adalah suatu prototipe atau peniruan dari keadaan alam yang sebenarnya,

Penggunaan model dimaksudkan untuk mendapatkan perhitungan debit banjir dengan cepat serta melihat pengaruh perubahan kapasitas tampungan pada kondisi debit puncak banjir.

Untuk membuat model yang valid, diperlukan masukan/*input* yang tepat (sesuai dengan kondisi aktual) sehingga model yang dibuat dapat mendekati kondisi aktual yang ada, baik itu *input* karakteristik DAS (penentuan nilai *Curve Number*, *Initial Abstraction*, *Muskingum*), curah hujan rencana, dimensi bendungan dan karakteristik lainnya.

Dilakukan pemodelan tampungan Waduk Greneng bilamana terjadi intensitas hujan maksimum yang menyebabkan banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 dan 1000 tahun. Hasil analisis ini dapat dipergunakan oleh pengelola waduk sebagai referensi dalam kesiapsiagaan menghadapi kondisi debit puncak/ debit banjir.

Tujuan dari penelitian ini adalah: menentukan hujan rencana untuk tiap kala ulang n-tahun, menentukan debit puncak banjir untuk tiap kala ulang n-tahun, menganalisis debit *outflow* yang melimpas dari Waduk Greneng (*Spillway & Outlet*), menentukan keandalan waduk (terjadi *overtopping* atau tidak) serta mengetahui perubahan kapasitas waduk (perubahan volume waduk) dalam mengendalikan debit banjir sesuai intensitas hujan rencana berbagai kala ulang.



Gambar 1. Lokasi Waduk Greneng, Kec. Tunjungan, Kab. Blora (sumber: PT. Ika Madya Perkasa, 2017)

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Persamaan Penelusuran Aliran

Persamaan penelusuran aliran dinyatakan dalam bentuk persamaan kontinuitas berikut ini (Trihatmojo, 2008) :

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

Dimana :

- I : aliran masuk (inflow) m³/detik
 O : aliran keluar (outflow) m³/detik
 dS : perubahan tampungan (m³)
 dt : interval waktu penelusuran (detik, jam, hari).

Persamaan (1) menunjukkan perubahan tampungan antar interval waktu t adalah sama dengan aliran masuk dikurangi aliran keluar, terdapat hubungan antara tampungan, aliran masuk dan aliran keluar (Triatmojo, 2008).

Pada penelusuran banjir di waduk, permukaan air adalah horisontal, tampungan merupakan fungsi dari aliran keluar yang mempunyai fungsi seperti Persamaan (2) dan (3) sebagai berikut (Trihatmojo, 2008) :

$$S = K \cdot O \quad (2)$$

$$S = K \cdot O + K_x \cdot (I - O) \quad (3)$$

Dimana,

- S : tampungan waduk
 I : aliran masuk inflow
 O : aliran keluar (outflow)
 K : koefisien tampungan
 X : faktor bobot, variabel dari 0-0,5.

Pada waduk terdapat bangunan pelimpah (spill way) dimana persamaan aliran keluar dari pelimpah diberikan dalam Persamaan (4) berikut ini (Trihatmojo, 2008) :

$$Q = Cd \cdot B \cdot H^{3/2} \quad (4)$$

Dimana,

- Cd : koefisien debit (m/detik)
 B : panjang pelimpah (m)
 H : tinggi energi di atas ambang (m)

B.2 Penelusuran Banjir di Waduk

Pada penelusuran banjir di waduk Persamaan (1) dapat ditulis menjadi persamaan (5) berikut (Limantara, 2019):

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_1 + S_2}{\Delta t} \quad (5)$$

Dimana,

- I_1 dan I_2 : aliran masuk pada waktu ke 1 dan ke 2.
 O_1 dan O_2 : aliran masuk pada waktu ke 1 dan ke 2.
 S_1 dan S_2 : tampungan pada waktu ke 1 dan ke 2.
 Δt : interval waktu.

B.3 Model HEC HMS

Salah satu model transformasi hujan menjadi aliran adalah model HEC-HMS. Model ini merupakan model hidrologi numerik yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Centre* (HEC) dari US Army Corps Of Engineers. Model pada *software* ini

sangat mudah untuk disesuaikan terhadap kondisi aktual karena terdapat berbagai macam pilihan fitur untuk model hidrologi, sehingga dapat membantu dalam peramalan debit banjir serta peramalan banjir di waduk (Scharffenberg et al, 2010).

Metode yang digunakan pada model HEC HMS untuk *reservoir routing* adalah sebagai berikut:

Hujan dimodelkan sebagai *user hyetograph*, dengan besaran *hyetograph* yang digunakan adalah intensitas hujan selama jam 1 sampai jam ke-6.

Volume limpasan permukaan: volume limpasan permukaan dimodelkan dengan metode *SCS Curve Number*. Metode ini mengkaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu (Ideawati, et. Al, 2012)

Dalam parameter *Loss Model SCS Curve Number* terdapat tiga nilai parameter yang dimasukkan, yaitu:

Curve Number (CN), bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tataguna lahan, jenis tanah dan kelembaban. Nilai CN bervariasi dari 30 (permukaan tanah tak kedap air dengan infiltrasi tinggi) sampai dengan 100, permukaan yang digenangi air.

Impervious, nilai yang menyatakan besaran daerah yang kedap air, yang berupa kerapatan vegetasi maupun kerapatan pemukiman. Nilai *Impervious* 100% berarti 100% hujan yang jatuh di tanah akan berubah menjadi aliran permukaan).

Initial Abstraction , merupakan nilai air hujan (mm) yang telah terabstraksi ke dalam tanah diseluruh sub

DAS Greneng. Sebelum mendapatkan nilai initial abstraction (Ia), terlebih dahulu mencari nilai dari retensi maksimum (S). Nilai parameter yang digunakan tersebut didapatkan berdasarkan jenis tanah dan penggunaan lahan di DAS (tutupan lahan).

Direct runoff : pemodelan limpasan permukaan langsung menggunakan metode user *Specified hyetograph*.

Baseflow, aliran bawah tanga dengan metode *Constant Monthly*.

Channel flow / pemodelan debit sungai dengan metode Muskingum. Pemodelan sungai menggunakan metode Muskingum, mengasumsikan bahwa tidak ada anak-anak sungai yang masukdalam bagian memanjang palung sungai (*Reach*) yang ditinjau. Serta semua penambahan dan kehilangan air yang berasal dari air hujan, air tanah dan evaporasi semuanya diabaikan. Hal ini sesuai dengan pendekatan Hukum Kontinuitas, yang menyatakan bahwa aliran masuk sama dengan aliran keluar (dalam hal ini pada palung sungai yang ditinjau).

B.4 *Reservoir Routing Method*, Terdapat 3 metode penelusuran banjir di waduk.

Pertama, metode *Out Flow Curve*: metode yang memperlihatkan hubungan volume tampungan-debit *outflow* yang diketahui.

Kedua, *Out Flow Structure* metode yang dipakai untuk memodelkan kondisi dimana terdapat beberapa *outlet* struktur yang tidak diketahui debit *outflow*-nya.. Ketiga, *Specific Release*, metode yang didesain untuk memodelkan kondisi dimana jumlah debit keluar telah diketahui untuk setiap interval waktu simulasi. Artinya harus sudah ada data debit *outflow* pengukuran sebelum

model dibuat. (sumber: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.4/reservoir-elements/selecting-a-reservoir-routing-method>).

Untuk penulisan ini dipilih metode *Out Flow Structure* karena hanya diketahui elemen struktur/ dimensi *outlet* yang terdapat pada waduk Greneng.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Data Hidrologi

Sungai : Gowak

Luas DAS : 4,99 km²

Areal Irigasi : 251 Ha

Data Waduk:

Muka Air banjir : El + 121,50 m

Muka Air normal : El + 120,80 m

MA minimum : El + 111,68 m

Volume waduk MA normal : 2,3 juta m³

Volume Mati : 0,393 juta m³

Data Bendungan

Tipe : Urugan Tanah Homogen

Tinggi di atas galian : 11,70 m

Panjang puncak :110 m (bendungan kanan) dan 130 m (bendungan kiri).

Total panjang puncak : 240 m

Lebar puncak : 2,65 m. Dengan parapet b = 0,20 m dan beton kanstein b = 0,15 m.

Elevasi puncak : + 122,85 m DPL

Data Pelimpah

Tipe aliran :Free over flow

Tipe bangunan :Cipoletti dengan lebar mercu 5,40 m.

Konstruksi bangunan : Pasangan batu, dilengkapi jembatan beton.

Elevasi mercu pelimpah : + 120,8

Kala ulang banjir : 1000 tahun

Kapasitas pelimpah : 15,00 m³/dt

Data Outlet

Tipe : Conduit, Jumlah : 1 buah

Diameter: 1,0 m, Panjang : 41,0 m

C.2 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dari:

C.2.1 Pengumpulan Data

Data sekunder berupa: data teknis waduk (dimensi, elevasi, kurva tampungan), data curah hujan selama periode 19 tahun (2001-2018) dari stasiun yang berpengaruh di DTA Waduk Greneng, data karakteristik DTA, peta topografi, peta tata guna lahan, dan peta jenis tanah

C.2.2 Penentuan Hujan Rencana Dan Intensitas Hujan Rencana

Penentuan besar hujan rencana (mm) untuk tiap kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 dan 1000 tahun), dengan menggunakan Analisa Frekuensi metode Gumbell-Normal-Log Normal-Log Pearson, serta penentuan intensitas hujan (mm/jam) dengan Metode Mononobe.

C.2.3 Penentuan Parameter SCS-CN

Parameter yang diperlukan berupa : peta jenis tanah, peta kelerengan tanah, peta tutupan lahan dari DAS Waduk Greneng.

C.2.4 Penentuan Nilai CN, *Initial Abstraction*, *Impervious*, Nilai *Muskingum*, Nilai *Lag Time*.

Nilai tersebut diatas akan digunakan sebagai *input* di model HEC HMS sebagai karakteristik DAS waduk.

C.2.5 Analisa Hujan menjadi Debit Aliran/Debit Banjir (Pemodelan Komponen DAS)

Analisis debit banjir dimaksudkan untuk menentukan besaran debit aliran maksimum (debit banjir) rencana yang masuk ke dalam waduk berdasarkan kondisi DTA waduk asli. Oleh karena data debit aliran tidak diperoleh, maka debit banjir dihitung dengan menggunakan transformasi hujan menjadi aliran. Analisis debit banjir rencana dilakukan berdasarkan hujan rencana dan kondisi DAS. untuk berbagai kala ulang (Arifin, 2021).

Langkah dilakukan dengan melakukan *input Basin Model Manager, Metereologic Model, Control Specification, Time Series Data, dan Paired Data*, sehingga dapat dihasilkan hidrograf satuan sintetik metode HEC HMS SCS Curve Number (mendapatkan nilai debit banjir maksimum).

C.2.6 Pemodelan *Reservoir Routing* di Waduk Greneng

Melakukan *input model outlet, model Spill way, model Dam Top* berdasarkan kondisi aktual bendungan Greneng.

C.2.7 Melakukan Simulasi *Run Result Analysis*

Untuk mendapatkan hasil perhitungan *reservoir routing* berupa debit banjir maksimum, debit *outflow* maksimum, kapasitas maksimum tampungan dan tinggi elevasi maksimum air di waduk, selama periode 24 jam.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Hujan Rencana dan Intensitas Hujan Rencana

Nilai hujan rencana (mm) ditentukan dengan melakukan analisa frekuensi terhadap data hujan harian maksimum selama tahun 2001-2018 dengan metode Gumbel/ Log Normal/Normal/Log Pearson. Dan setelah dilakukan uji kecocokan sebaran

data teoritis, dipakai perhitungan metode Normal (Lihat Tabel 1).

Penentuan intensitas hujan rencana jam-jaman dengan menggunakan persamaan Mononobe untuk intensitas hujan selama 6 jam (Lihat Tabel 2). Menurut Loebis (1992), intensitas hujan dapat ditentukan secara empiris berdasarkan data hujan jangka pendek, diantaranya dengan menggunakan metode Talbot, Ishiguro, dan Sherman. Namun apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, penentuan intensitas hujan dapat didasarkan pada data hujan harian yaitudengan menggunakan metode Mononobe

Dari hasil analisa frekuensi, nilai hujan rencana tiap kala ulang ditampilkan di Tabel 1 dan nilai intensitas hujan selama 6 jam untuk tiap kala ulang ditampilkan di Tabel 2. Nilai hujan rencana tiap kala ulang selama 6 jam (pada Tabel 2) akan dimasukkan dalam model HEC HMS sebagai 'Specific Hyetograph' yaitu besar hujan yang terjadi selama 6 jam untuk tiap kala ulang

Tabel 1. Nilai Hujan Rencana (mm) Tiap Kala Ulang

Kala Ulang (Tahun)	Besar Hujan (mm)
2	74
5	97
10	109
20	119
50	130
100	137
200	144
500	152
1000	158

Table 2. Hujan Jam-jaman Untuk Durasi Jam Pertama s/d jam Ke-6 (mm)

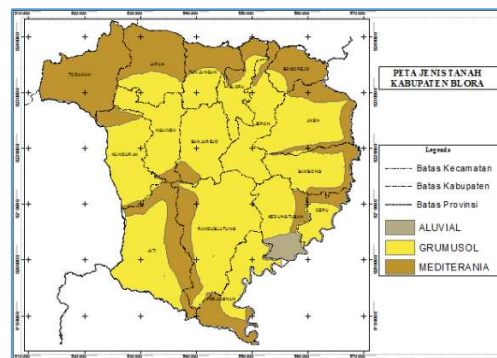
Jam ke:	Hujan Jam-jaman Periode Ulang								
	2 th	5 th	10 th	20	50	100	200	500	1000
1	40,72	53,38	59,99	65,49	71,54	75,39	79,25	83,65	86,95
2	10,58	13,87	15,59	17,02	18,60	19,60	20,60	21,74	22,60
3	7,43	9,73	10,94	11,94	13,04	13,75	14,45	15,25	15,85
4	5,91	7,75	8,71	9,51	10,38	10,94	11,50	12,14	12,62
5	4,99	6,54	7,35	8,03	8,77	9,24	9,71	10,25	10,66
6	4,36	5,72	6,43	7,02	7,67	8,08	8,49	8,96	9,32

D.2 Penentuan Parameter SCS Curve Number

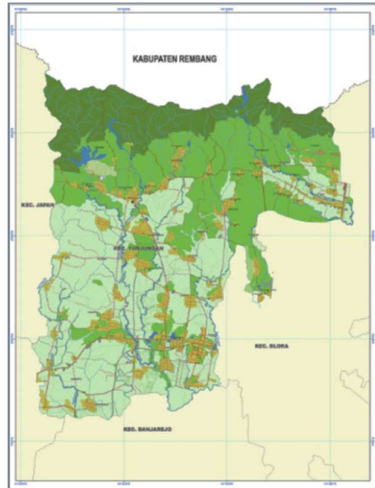
Penentuan parameter SCS Curve Number ditentukan dengan melakukan *plotting* peta tata guna lahan, peta kelerengan lahan, peta jenis tanah, dan peta kemiringan lahan tersebut.

Peta diperoleh dari data milik Sistem Informasi Tata Ruang Kabupaten Blora tahun 2021 (<https://simtaru.blorakab.go.id/#>). Penentuan nilai CN dan Impervious ditentukan oleh klasifikasi jenis lahan tersebut.

Peta jenis tanah di tampilkan di Gambar 2 dan peta tutupan lahan di wilayah waduk Greneng tampak di Gambar 3. Untuk wilayah DAS Waduk Greneng sendiri sebagian besar tutupan lahannya berupa hutan lindung tanaman jati. (<https://www.blorakab.go.id/index.php/public/pariwisata/detail/37/waduk-greneng>)



Gambar 2. Peta Jenis Tanah Kab. Blora (Sumber: SIMTARU Blora, 2021)



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Kec. Tunjungan Blora

(Sumber:SIMTARU. Blora, 2021)

D.3 Penentuan Nilai *CN-IA-Impervious, Muskingum & Lag Time*

Nilai Curve Number-Impervious

Nilai CN DAS Waduk Greneng dengan tanah berupa mediteranian dan tutupan lahan hutan produksi (jati)/ladang pertanian /sungai sebesar 78,82% (Lihat Tabel 3) yang merupakan besar hubungan antara jenis tanah-tutupan lahan dengan besar limpasan permukaan. Nilai *Impervious* dari DAS Waduk Greneng sebesar 8,62% artinya sebesar 8,62% hujan yang jatuh akan menjadi aliran permukaan (Tabel 3) berikut,

Table 3. Penentuan Nilai CN dan Impervious

Jenis Tanah	Tutupan Lahan	Luas Sub DAS (Ha)	Impervious	Nilai CN	Luas x CN	CN Fix	Luas x Impervious	Impervious Fix
Mediteranian	Hutan Produksi	400	5%	77	30.800		20	
Mediteranian	Ladang/Pertanian	80	5%	86	6.880		4	
Mediteranian	Sungai	19	100%	87	1.653		19	
		499			39.333	78,82	43	8,617%

Initial Abstraction

Nilai IA diperoleh sebesar 13,647 artinya sebesar 13,647mm hujan yang jatuh akan terabstraksi ke dalam tanah (Tabel 4).

Tabel 4. Penentuan Nilai Initial Abstraction (mm)

No	Sub Das	% CN	Impervious	S	Initial Abstraction	90% IA	110% IA
1	greneng	78,82	8,62%	68,238	13,6477	12,28	15,01

Transform Model (SCS Unit Hydrograph Model)

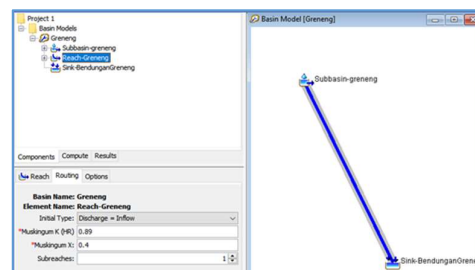
Parameter ini menggunakan parameter nilai *Lag Time* untuk setiap Sub DAS Greneng. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan panjang aliran sungai, angka kemiringan sungai, dan CN dari setiap Sub DAS, seperti ditampilkan di table 5 di bawah, diperoleh nilai *Lag time* sebesar 5,80 menit yaitu jumlah waktu yang diperlukan debit banjir tertentu yang melintasi dari suatu sungai (*reach*),

Tabel 5. Penentuan Nilai *Lag Time*

No	Sub Das	Luas	I	% CN	S (1000/CN)	Y	T (Lag Time)
1	SB1	4,99	3,5	78,82	12,687	0,014	5,80

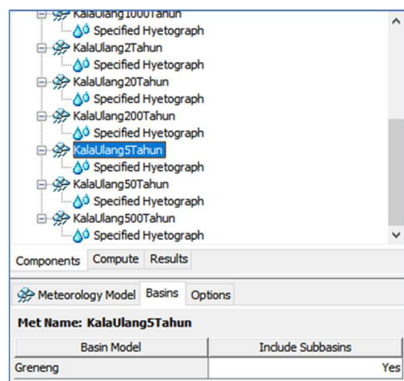
D.4 Pemodelan HEC HMS (Hujan Menjadi Debit Aliran Puncak/ Debit Banjir)

Komponen pertama pemodelan DAS di HEC HMS adalah membuat Basin (Das) dan Sub Basin serta hilir (waduk), dengan menggunakan menu *Components – Basin Model Manager*, sungai penghubung (REACH), untuk pertemuan tiap sungai (JUNCTION) dan hilir DAS dalam hal ini bendungan Greneng dimodelkan sebagai RESERVOIR CREATION TOOL, seperti pada Gambar 4,



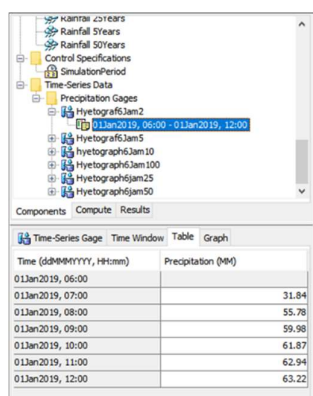
Gambar 4. Model Sub Basin – Reservoir (Waduk Greneng)

Komponen kedua yang dibuat adalah memasukkan data Specified Hyetograph (intensitas hujan selama 6 jam untuk tiap kala ulang) yang didapatkan dari Time Series Data (intensitas hujan 6 jam untuk tiap kala ulang seperti tertera di Tabel 2) pada Meteorologic manager, yang tampak di Gambar 5 di bawah,



Gambar 5. Meteorologic Manager

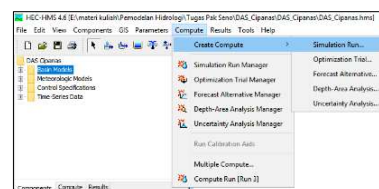
Komponen ketiga adalah *Control Specifications*, yang memuat input waktu kapan dimulai dan berakhirnya simulasi perhitungan (running) di program HEC HMS ini serta interval waktu yang diinginkan (15menit, 1jam, atau 1hari). Dalam hal ini selama 6 jam, dengan interval per 1 jam, tampak pada Gambar 6 di bawah. Data yang dimasukkan sesuai dengan intensitas hujan jam-jaman pada Tabel 2 di atas,



Gambar 6. Control Spesification

Selanjutnya dilakukan *Running Analysis* untuk menghitung debit aliran

(debit puncak tertinggi), dengan memilih *Compute-Simulation Run*, tampak pada Gambar 7 di bawah,



Gambar 7. Simulation Run

D.5 Pemodelan Penelusuran Banjir Di Waduk Greneng (HEC HMS Reservoir Routing)

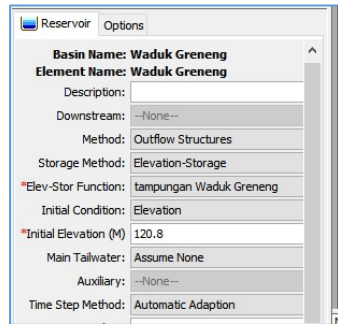
Selanjutnya untuk membuat model simulasi HEC HMS terhadap debit banjir yang masuk ke dalam waduk maka dibuat model *reservoir* (waduk) - *Sub basin* (Das) dengan penambahan adanya *Spill Way* - *Dam Top* - *Outlet* pada komponen BASIN, yang menjadi pembeda dengan langkah awal model simulasi untuk mencari debit aliran puncak (banjir).

Data teknis yang dibutuhkan seperti: dimensi waduk, kurva tampungan waduk (elevasi-volume tampungan) dan lainnya yang diperoleh dari gambar *as built drawing* waduk. Langkah-langkah pemodelan simulasi Routing Banjir di Waduk greneng sebagai berikut:

D.5.1 Model Reservoir Waduk Greneng,

Method = Outflow Structure (gunakan data teknis bangunan waduk), Storage Method = Elevation Storage (menggunakan kurva tampungan waduk), Initial Condition = Elevation (yaitu permulaan perhitungan routing banjir jika air pada waduk sudah berada di elevasi meter) kita misalkan waduk dalam kondisi penuh yaitu pada elevasi spillway bangunan pelimpah sesuai data teknis, untuk melihat sejauh mana waduk mampu mereduksi debit banjir dalam

kondisi penuh (kondisi paling ekstrim), Gambar 8.

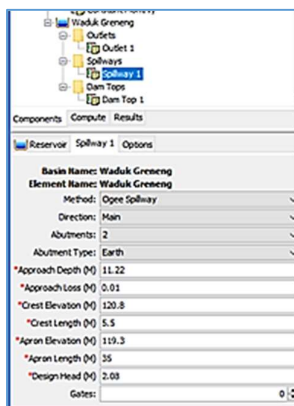


Gambar 8. Model Reservoir Routing

D.5.2 Properties Outlet-Spillway-Dam Top

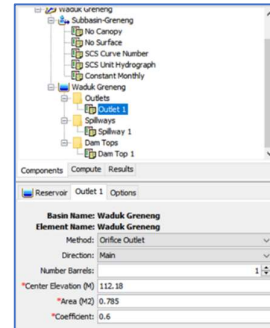
Komponen struktur *Outlet* = ada 1 *outlet*, *Spillway* = ada 1 *spillway*, *Dam Top* = 1, lainnya isikan NO karena tidak dimodelkan. Selanjutnya isikan *properties Outlet/Spillway/ Dam Top*.

- 1) Properties spillway (Gambar 9) : berisikan *Crest elev*: 120,8 *elev spillway*, *crest length (panjang spill way)*: 5,5 m, *apron length (hilir spillway)*: 35 meter, *Apron Elevation* (beda tinggi antara *crest spillway* ke tinggi *apron/air jatuh*) = $120.8 - 1,5 \text{ meter} = 119,3\text{m}$, *Design head* (elevasi *dam top* – elevasi *spillway*) = $122,85 - 120,8 = 2,08 \text{ meter}$, *Approach depth* (elevasi *dam top* – elev. Muka Air minimum) = 122,85 (*top dam*) - 111,63 (*MA minimum*) = 11.22, *approach loss* = 0,01 (minimum).



Gambar 9. Properties Spill Way

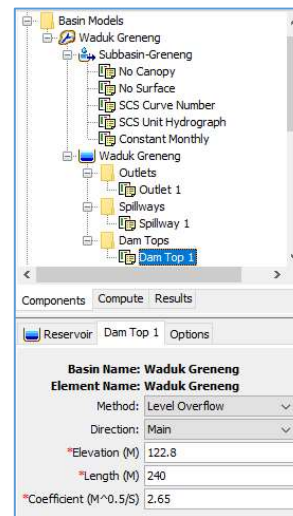
- 2) Properties Outlet (Gambar 10): berisikan data teknik ukuran outlet sesuai terpasang di waduk, Metode = Orifice outlet, centre elevation = lower water surface + setengah diameter pipa baja outlet = $MA \text{ minimum} + r \text{ pipa outlet} = 111,68 + 0,5 = 112,18\text{m}$, Area = 0,785 m², coefficient : 0,6.



Gambar 10. Properties Outlet Waduk

- 3) Properties Dam Top

Properties dam top (Gambar 11) berisikan Panjang puncak, elevasi puncak bendungan dan nilai koefisien,



Gambar 11. Properties Dam Top

D.5.3 Input Kurva Tampungan Waduk

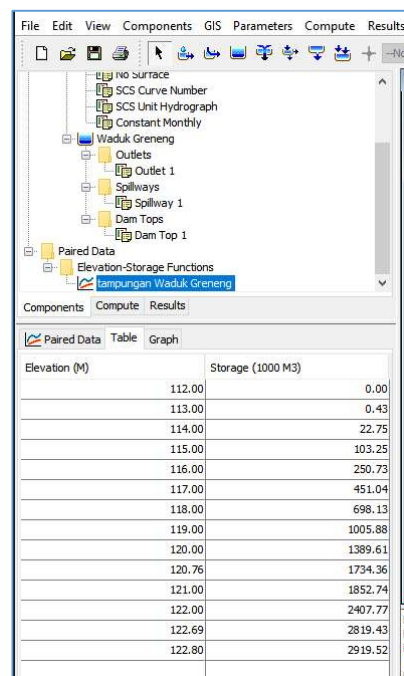
Data kurva tampungan dimasukkan ke dalam model HEC HMS pada komponen *Paired Data*. Nilai volume waduk (m³) untuk tiap elevasi tampungan (m) yang diperoleh dari data

sekunder penelitian sebelumnya (lihat Tabel 6) dimasukkan ke dalam *dialog box Elevation Storage Paired Data* di Gambar 12. Lalu aktifkan Kurva Tampungan yang sudah dibuat di *Basin Model* → *Reservoir* ‘Waduk Greneng’ dan pilih kurva yang sudah dimasukkan di *Paired Data Manager* (lihat Gambar 12 dan Gambar 13).

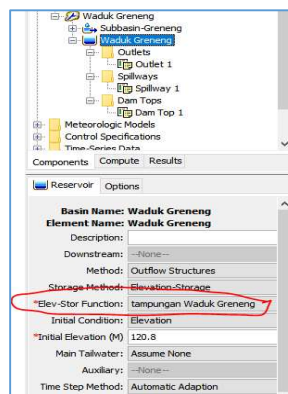
Tabel 6. Kurva Tampungan Waduk

Elevasi (m)	2012*		2017		Keterangan
	Area (Ha)	Vol (x1000 m ³)	Area (Ha)	Vol (x1000 m ³)	
111.65		0.00		0.00	Elev. Ambang Intake
112.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
113.00	0.08	0.44	0.08	0.43	
114.00	4.11	21.27	4.40	22.75	
115.00	11.95	105.48	11.70	103.25	
116.00	18.17	255.97	17.79	250.73	
117.00	22.60	457.85	22.27	451.04	
118.00	27.60	709.64	27.15	698.13	
119.00	35.20	1,029.24	34.40	1,005.88	
120.00	43.66	1,432.74	42.35	1,389.61	
120.76	50.73	1,818.78	48.37	1,734.36	Elev. Mercu Pelimpah
121.00	52.19	1,923.09	50.28	1,852.74	
122.00	62.89	2,493.22	60.73	2,407.77	
122.69	70.83	2,916.08	68.48	2,819.43	
122.80	72.10	3,017.31	69.72	2,919.52	Elev. Puncak Bendungan

(Sumber: PT. Ika Adya Perkasa, 2017)



Gambar 12. Input Tampungan Waduk Pada Model HMS



Gambar 13. Input Kurva Tampungan pada HEC HMS

D.6 Hasil Penelusuran Banjir

Debit *Inflow-Outflow* Maksimum

Hasil *running analysis* model : hujan rencana menjadi debit aliran puncak/ debit *inflow* banjir, dinamika elevasi muka air di waduk, dinamika volume tampungan waduk selama periode simulasi dan besarnya debit *outflow* yang keluar dari waduk ditampilkan pada Tabel 7.

Terlihat bahwa debit banjir tertinggi yang masuk pada Waduk Greneng adalah debit *inflow* banjir pada hujan rencana kala ulang 1000 tahun dan debit *inflow* banjir terendah terjadi pada rencana kala ulang 2 tahun.

Tabel 7. Q *Inflow* Maksimum dan Q *Outflow* Maximum Waduk Greneng Untuk Seluruh Kala Ulang n-Tahun

Kala Ulang (Tahun)	Q Banjir (Inflow)	Q Reduksi (Outflow)	Elevasi Puncak Banjir (m)	Tampungan Maximum (x 1000 m ³)	Puncak Q Banjir (inflow) Pada Jam ke:	Puncak Q reduksi (Outflow) Pada Jam ke:
2	10,9	3	121.1	1921	01.00	06.00
5	18,5	4,3	121,2	1986,6	01.00	06.00
10	23	5,1	121,3	2022,3	01.00	06.00
20	26,9	5,8	121,4	2052,6	01.00	06.00
50	31,4	6,6	121,4	2086,3	01.00	06.00
100	34,3	7,2	121,5	2107,8	01.00	06.00
200	37,3	7,7	121,5	2129,4	01.00	06.00
500	40,8	8,4	121,5	2154	01.00	06.00
1000	43,4	8,9	121,6	2172,5	01.00	06.00

Pada kala ulang 1000 tahun, elevasi puncak banjir pada level +121,6

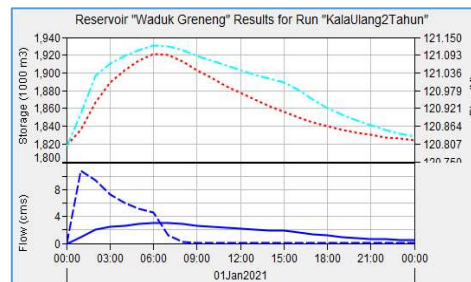
m masih berada di bawah elevasi *dam top* Waduk Greneng +122,85 m meski berada di atas elevasi banjir rencana di +121,5 m, namun tidak terjadi kejadian *overtopping*. Juga volume tampungan maksimum sebesar 2,172 juta m³ masih lebih kecil dari kapasitas tampungan waduk maksimum di 2,3 Juta m³.

Demikian pula pada kala ulang 500 tahun, elevasi puncak banjir pada level +121,5 m masih berada di bawah elevasi *dam top* waduk Greneng +122,85 m dan selevel dengan elevasi banjir rencana di +121,5 m, tidak terjadi kejadian *overtopping*, dengan volume tampungan sebesar 2,154 juta m³ masih lebih kecil dari kapasitas tampungan waduk maksimum di 2,3 Juta m³.

Bila kita bandingkan dengan hasil penelusuran banjir di Waduk Tempuran, Kab. Blora (yang masih merupakan obyek penelitian dalam DOISP Project yang sama) di wilayah BBWS Pemali Juwana, juga tidak terjadi *overtopping* (air melimpas dari puncak bendungan) dengan debit *inflow* banjir maksimum hujan rencana kala ulang 1000 tahun sebesar 52 m³/detik, direduksi oleh menjadi debit *outflow* sebesar 12,8 m³/detik.

Reservoir Routing Kala Ulang 2 Tahun

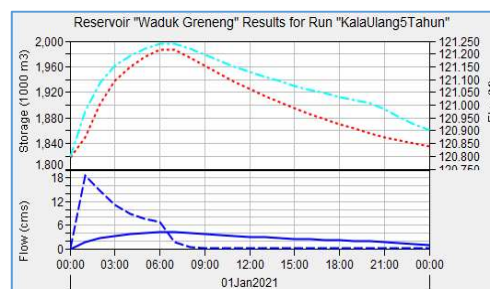
Pada Gambar 14 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,1m dan tampungan tertinggi : 1,921 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 10,9m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 3m³/det.



Gambar 14. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 2Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 5 Tahun

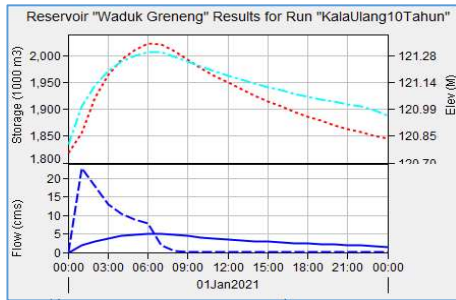
Pada Gambar 15 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,2m dan tampungan tertinggi : 1,986 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 18,5m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 4,3m³/det.



Gambar 15. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 5Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 10 Tahun

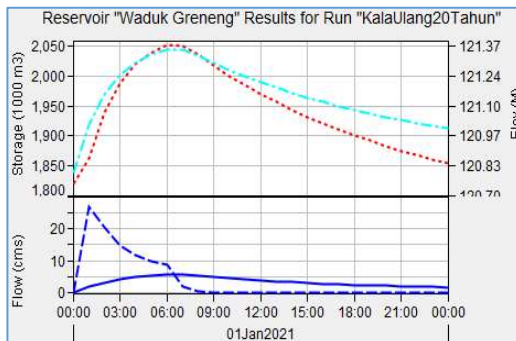
Pada Gambar 16 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,3m dan tampungan tertinggi : 2,022 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 23m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 5,1m³/det.



Gambar 16. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 10 Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 20 Tahun

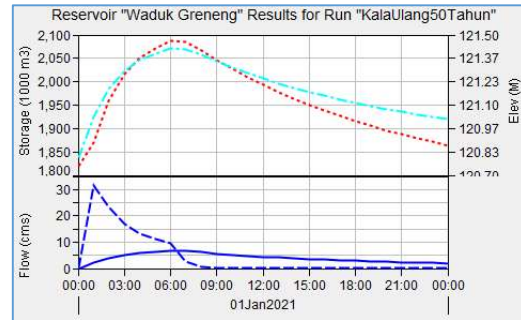
Pada Gambar 17 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,4m dan tampungan tertinggi : 2,052 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 26,9m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 5,8m³/det.



Gambar 17. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 20 Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 50 Tahun

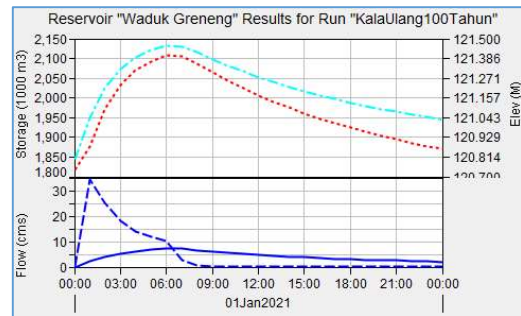
Pada Gambar 18 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,4m dan tampungan tertinggi : 2,086 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 31,4m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 6,6m³/det.



Gambar 18. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 50 Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 100 Tahun

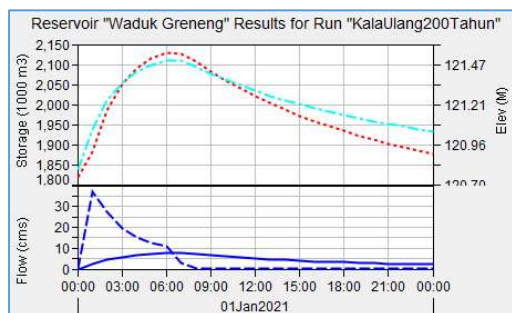
Pada Gambar 19 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,5m dan tampungan tertinggi : 2,107 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 34,3m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 7,2m³/det.



Gambar 19. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 100 Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 200 Tahun

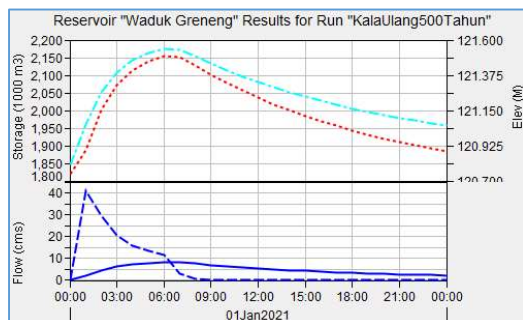
Pada Gambar 20 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,5m dan tampungan tertinggi : 2,129 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 37,3m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 7,7m³/det.



Gambar 20. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 200 Tahun

Reservoir Routing Kala Ulang 500 Tahun

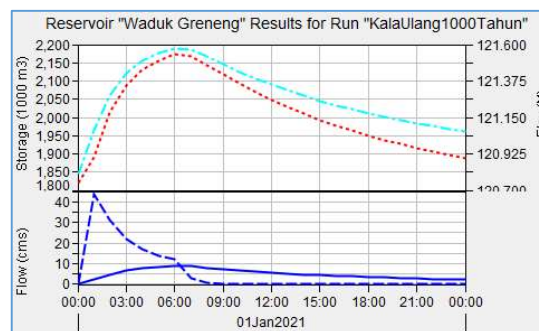
Pada Gambar 21 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,5m dan tampungan tertinggi : 2,154 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 40,8m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 8,4m³/det.



Gambar 21. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 500 Tahun

Reservoir Routing Untuk Kala Ulang 1000 Tahun

Pada Gambar 22 menampilkan kurva Tampungan-Elevasi Waduk, dimana elevasi muka air tertinggi di +121,6m dan tampungan tertinggi : 2,172 Juta m³. Juga ditampilkan debit puncak banjir: 43,4m³/det yang direduksi oleh waduk menjadi debit *outflow* maks.: 8,9m³/det.



Gambar 22. Hidrograf Banjir-Kurva Tampungan Kala Ulang 1000 Tahun

Apabila *Q outflow* maksimum 8,9 m³/det ini dibandingkan terhadap *Channel Conveyance capacity* sungai di hilir (sesuai data kapasitas penampang sungai oleh PT. Ika Madya Perkasa, 2017) sebesar 30 m³/detik maka debit yang melimpas masih mampu ditampung oleh penampang sungai di hilir, tidak terjadi genangan banjir.

Terjadi reduksi banjir rata-rata sebesar 22,03% dari seluruh nilai maksimum debit banjir inflow dan debit melimpas outflow, tiap kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 dan 1000 tahun (Tabel 8),

Tabel 8. Reduksi Debit Banjir Puncak Oleh Waduk Greneng Untuk Seluruh Kala Ulang

Kala Ulang (Tahun)	Q Banjir (Inflow)	Q Reduksi (Outflow)	Reduksi Banjir
2	10,9	3	27,52%
5	18,5	4,3	23,24%
10	23	5,1	22,17%
20	26,9	5,8	21,56%
50	31,4	6,6	21,02%
100	34,3	7,2	20,99%
200	37,3	7,7	20,64%
500	40,8	8,4	20,59%
1000	43,4	8,9	20,51%
Reduksi rata-rata			22,03%

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pemodelan HEC HMS dan *running analysis* keandalan waduk dalam penelusuran banjir diperoleh:

1. Dari hasil penelusuran banjir, diperoleh nilai debit *inflow* banjir tertinggi terjadi yang masuk ke Waduk Greneng pada hujan kala ulang 2,5,10,20,50,100,200,500 dan 1000 tahun berurutan: 10,9m³/det; 18,5m³/det; 23m³/det; 26,9m³/det; 31,4m³/det; 34,3m³/det; 37,3m³/det; 40,8 m³/det; dan 43,4m³/det.
2. Debit banjir yang masuk mampu direduksi oleh waduk Greneng menjadi debit *outflow* maksimum berurutan sesuai kala ulang 2,5,10,20,50,100,200,500 dan 1000 tahun yaitu: 3m³/det; 4,3m³/det; 5,1m³/det; 5,8m³/det; 6,6m³/det; 7,2m³/det; 7,7m³/det; 8,4m³/det; 8,9 m³/detik.

3. Secara keseluruhan waduk mampu menurunkan debit banjir sebesar 22,03%.
4. Tidak terjadi *overtopping* pada waduk akibat Q *inflow* / debit banjir simulasi yang masuk ke dalam waduk untuk seluruh simulasi kala ulang.
5. Volume kapasitas waduk tertinggi: 2,172 Juta m³, pada elevasi puncak banjir +121,6 m, terjadi pada simulasi jam ke-6, hujan rencana kala ulang 1000 tahun.

Saran

Untuk validasi model HEC HMS, dapat dilakukan pengukuran debit aliran pada sungai di hilir waduk untuk dibandingkan dengan debit *outflow* aktual yang keluar dari waduk.

DAFTAR PUSTAKA

<https://jateng.inews.id/berita/diguyur-hujan-lebat-ratusan-rumah-di-blora-jateng-terendam-banjir>

<http://www.pusdataru.jatengprov.go.id/potensi/waduk/greneng.htm>

<https://sda.pu.go.id/balai/bbwspemalijua na/pages/posts/49-miliar-untuk-perbaikan-waduk-greneng-1612877479>

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>

<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.4/reservoir-elements/selecting-a-reservoir-routing-method>

<https://simtaru.blorakab.go.id/>

Anderson, Chen, Kavvas and Feldman (2002), *Coupling HEC-HMS with Atmospheric Models for Prediction of Watershed Runoff*, Journal Of Hydrologic Engineering, Vol.7 No. 4, July 1, 2002.

Arifin, Muhammad and Budiyo, Muhammad (2021), *Analisis Keruntuhan Bendungan (Dam Break Analysis) Dalam Upaya Mitigasi Bencana(Studi Kasus Di Waduk/ Bendungan Tempuran*, Civtech Journal, <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/CivETech/issue/archive>

Chow, V.T., Maidment, David R., Mays, Larry W., 1988, *Applied Hydrology*, Mcgraw-Hill International Editions.

Galoie1, Eslamian, Motamedi (2014), *An Investigation Of The Influence Of A Retention Dam On Flood Control In A Small Catchment Area In Austria*, Journal of Flood Engineering 5(1-2) January-December 2014.

Ideawati, Limantara, Andawayanti (2012), *Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Banjir Di Das Lesti*, Magister

Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang.

Ika Madya Perkasa (2017), *Laporan Hidrologi Pekerjaan Rencana Tindak Darurat Bendungan Greneng*, Malang.

Liantara, Lili (2019), *Rekayasa Hidrologi*, Penerbit Andi, Jogjakarta.

Loebis, Joesron (1992), *Banjir Rencana untuk Bangunan Air*, Yayasan BadanPenerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.

Subramanya, K (2008), *Engineering Hydrology*, Tata McGraw Publising, New Delhi.PT. Tata Guna Patria (2012), *Special Study Waduk Greneng*, Semarang.

Trihatmojo, Bambang (2008), *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.

Scharffenberg, Ely, Daly, Fleming and Pak (2010), *Hydrologic Modeling System (Hec-Hms):Physically-Based Simulation Components*, 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27 - July 1, 2010.

Susilo, Qomariah, Wahyudi (2016), *Analisis Routing Aliran Melalui Reservoir (Studi Kasus Waduk Diponegoro)*, Jurnal E-Matriks, Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Solo.

USGS (2016) Sediment and suspended sediment.

https://www.usgs.gov/special-topic/waterscienceschool/science/sedimentandsuspendedsediment?qtscience_center_objects=0#qtscience_center_objects



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)