

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH BENDUNGAN MENINTING TERHADAP BESAR DEBIT BANJIR DI
HILIR DAERAH ALIRAN SUNGAI MENINTING DENGAN MENGGUNAKAN
HEC-HMS**

Artikel Ilmiah
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S – 1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

Anggi Bayu Christiyanto

F1A 017 016

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM**

2023

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH BENDUNGAN MENINTING TERHADAP BESAR DEBIT
BANJIR DI HILIR DAERAH ALIRAN SUNGAI MENINTING DENGAN
MENGUNAKAN HEC-HMS**

Oleh :

**ANGGI BAYU CHRISTIYANTO
F1A017016**

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing :

1. Pembimbing Utama



**M. Bagus Budiarto, ST., MT.
NIP : 19701206 199803 1 006**

Tanggal : 2023

2. Pembimbing Pendamping



**Dr. I Wayan Yasa, ST., MT.
NIP : 19680918 199512 1 001**

Tanggal : 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Mataram



**Hariyadi, ST., MSc(Eng.),Dr.Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001**

ARTIKEL ILMIAH
PENGARUH BENDUNGAN MENINTING TERHADAP BESAR DEBIT
BANJIR DI HILIR DAERAH ALIRAN SUNGAI MENINTING DENGAN
MENGGUNAKAN HEC-HMS

Oleh :

ANGGI BAYU CHRISTIYANTO
F1A017016

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 16 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

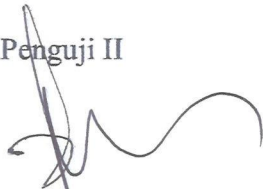
1. Penguji I



Tanggal : 2023

Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D.
NIP . 19651113 199403 1 001

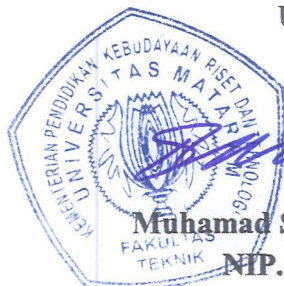
2. Penguji II



Tanggal : 2023

Agus Suroso, ST., MT.
NIP. 19680813 199703 1 002

Mataram, November 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhamad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222 199903 1 002

PENGARUH BENDUNGAN MENINTING TERHADAP BESAR DEBIT BANJIR DI HILIR DAERAH ALIRAN SUNGAI MENINTING DENGAN MENGGUNAKAN HEC-HMS

Anggi Bayu Christiyanto¹, M. Bagus Budianto², I Wayan Yasa,²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

INTISARI

Permasalahan banjir di Kabupaten Lombok Barat hampir terjadi setiap tahunnya, terutama pada daerah perkotaan dan bantaran wilayah DAS Meninting. Potensi kejadian banjir di DAS ini cukup besar karena tingginya curah hujan dan alih fungsi lahan yang terus meningkat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar debit banjir rencana yang akan terjadi dan seberapa besar pengaruh bendungan Meninting dalam mereduksi banjir pada DAS Meninting tersebut. Pada studi ini digunakan program bantuan berupa HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System) yang mempunyai kemampuan untuk menjalankan berbagai simulasi hidrologi. Studi dimulai dengan menghitung curah hujan rencana menggunakan metode Normal yang kemudian dimasukkan dalam model HEC-HMS. Pemodelan hujan aliran menggunakan metode Specified Hyetograph, kehilangan air dengan metode SCS Curve Number (CN), limpasan langsung dengan metode SCS Unit Hydrograph (SCS-UH), dan untuk aliran dasar dengan metode Recession. Berdasarkan simulasi model, didapatkan debit banjir rencana pada DAS Meninting kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun berturut-turut sebesar 649,9 m³/s; 815,5 m³/s; 903,3 m³/s; 975,5 m³/s; 1058,1 m³/s dan 1114,5 m³/s. Sedangkan reduksi banjir dari Bendungan Meninting pada kala ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun berturut-turut sebesar 11,6%, 11,6%, 11,2%, 10,5%, 9,7%, dan 9,2%. Sehingga rata-rata reduksi banjir akibat Bendungan Meninting adalah sebesar 10,6%. Dengan demikian, nilai debit banjir rencana untuk setiap periode waktu dapat dimodelkan dengan baik dengan HEC-HMS. Serta dari hasil HEC-HMS diperoleh kemampuan bendungan Meninting dalam mereduksi banjir belum cukup untuk mengatasi banjir yang terjadi di Kabupaten Lombok Barat.

Kata kunci: Banjir, DAS Meninting, Simulasi, HEC-HMS, Debit Banjir.

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Konsep dasar pengembangan Bendungan Meninting didasari oleh ketersediaan air di Pulau Lombok yang tidak merata. Bagian barat Pulau Lombok termasuk DAS Meninting, mempunyai potensi air yang relatif cukup untuk memenuhi kebutuhan air di wilayahnya sendiri. Disisi lain, Pulau Lombok bagian selatan khususnya Wilayah Mujur Komplek memiliki potensi areal yang cukup besar namun ketersediaan air sangat terbatas. Untuk menyeimbangkan potensi air dan potensi areal pertanian di Pulau Lombok, maka Bendungan Meninting perlu dikembangkan, maka diharapkan debit suplesi HLD Jangkok – Babak dapat ditingkatkan. Selain untuk mensuplai kebutuhan air irigasi di wilayah Pulau Lombok bagian selatan, Bendungan Meninting juga diharapkan mampu mengatasi permasalahan penurunan debit mata air untuk pemenuhan kebutuhan air minum khususnya di wilayah Kabupaten Lombok Barat bagian utara.

Dengan adanya bendungan meninting dalam memenuhi kebutuhan air di Kawasan Lombok Barat, hal ini juga dapat mengatasi permasalahan seperti bencana banjir. Pada tanggal 6 desember 2021 di daerah Meninting Lombok Nusa Tenggara Barat, terjadi banjir yang dimana tidak pernah terjadi sebelumnya yang mengakibatkan genangan air yang cukup besar sehingga mengganggu aktifitas masyarakat, bahkan salah satu jembatan pada wilayah tersebut menjadi rusak. Daerah Meninting termasuk kedalam kawasan DAS meninting yang merupakan wilayah kerja dari BWSNT1.

Jika permasalahan tersebut dapat diatasi maka kebutuhan air untuk wilayah Kabupaten Lombok Barat akan terpenuhi serta permasalahan banjir yang menggenang sekitar Kawasan DAS

Meninting saat curah hujan maksimum tidak akan terjadi karena dibangunnya Bendungan Meninting untuk menampung air yang mengalir di Kawasan DAS Meninting.

Debit air yang melimpah pada DAS Meninting dapat ditampung dengan membangun bendungan pada hilir DAS Meninting. Sehingga menaikkan volume dan tinggi muka air pada Kawasan DAS Meninting dan mengakibatkan perubahan debit banjir pada bagian hilir bendungan.

Perubahan debit banjir pada DAS Meninting dapat dianalisis dengan berbagai metode konvensional dan modern dengan model hidrologi yang merupakan sebuah sajian sederhana dari sebuah sistem hidrologi pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Model tersebut bertujuan untuk menggambarkan tanggapan suatu DAS terhadap proses hidrologi yang terjadi jika diberi masukan-masukan tertentu. Dalam penyusunan model hidrologi, titik berat analisis dipusatkan pada proses pengalihan hujan menjadi aliran melalui satu sistem DAS.

Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan untuk mengalihragamkan hujan menjadi aliran baik event flow maupun continuous flow adalah HEC-HMS. Software HEC-HMS dirancang untuk menghitung proses hujan aliran suatu sistem DAS. Software ini dikembangkan oleh Hidrologic Center (HEC) dari US Army Corps of Engineering. HEC-HMS merupakan pengembangan program HEC-1.

Dengan uraian latar belakang di atas maka penulis perlu melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Bendungan Meninting Terhadap Besar Debit Banjir Di Hilir Daerah Aliran Sungai Meninting Dengan Menggunakan HEC-HMS” dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat diperoleh informasi yang bermanfaat untuk melakukan evaluasi dan kajian untuk upaya pengelolaan DAS dan

pengendalian banjir daerah Meninting di masa yang akan datang.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah debit banjir pada DAS Meninting dengan menggunakan HEC-HMS?
2. Berapakah debit banjir di hilir pasca pembangunan Bendungan Meninting dengan menggunakan HEC-HMS?
3. Bagaimana pengaruh Bendungan Meninting terhadap perubahan debit banjir pada DAS Meninting menggunakan HEC-HMS?

Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi kasus dilakukan pada Bendungan Meninting, Kabupaten Lombok Barat.
2. Data bendungan yang didapat berupa data ketersediaan air (*inflow*) dan kebutuhan air (*outflow*).
3. Data-data yang digunakan untuk penyelesaian masalah ini antara lain :
 - a. Data dari pos AWLR Meninting
 - b. ARR Gunung Sari
 - c. Data-data meteorologi yang berpengaruh
4. Sumber data diperoleh dari Satuan Pelaksana Kegiatan Penatagunaan Sumber Daya Air (PSDA) dan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara 1 Provinsi NTB.
5. Data hujan yang digunakan adalah data hujan dari tahun 2002-2021.
6. Analisis debit banjir menggunakan *Software* HEC-HMS v4.9.1.
7. Tidak melakukan perencanaan bendungan

B. DASAR TEORI

Hubungan data hujan dan data debit AWLR

Perubahan kondisi permukaan air sungai dalam jangka waktu yang panjang akan dapat diketahui dengan mengadakan pengamatan permukaan air sungai itu dalam jangka waktu yang panjang. Debit sungai dapat diperoleh juga dari permukaan air sungai itu. Dalam persoalan pengendalian sungai, permukaan air sungai yang sudah dikorelasikan dengan curah hujan dapat membantu mengadakan penyelidikan data untuk pengelakan banjir, peramalan banjir, air sungai itu dapat digunakan untuk mengetahui secara umum banyaknya air sungai yang tersedia, penentuan kapasitas bendungan dan seterusnya (*Sosrodarsono dan Takeda, 1999*).

Curah Hujan Areal

Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada, sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang ditempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing-masing stasiun dapat tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut (*Triatmodjo, 2008*).

Pemodelan HEC-HMS

HEC-HMS adalah software yang dikembangkan oleh U.S Army Corps of Engineering. Software ini digunakan untuk analisis hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah wilayah sungai. HEC-HMS di desain untuk bisa diaplikasikan dalam area geografik yang sangat luas untuk menyelesaikan masalah, meliputi suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir dan limpasan air di daerah kota kecil ataupun kawasan tangkapan air alami. Hidrograf satuan yang dihasilkan dapat digunakan langsung

ataupun digabungkan dengan software lain yang digunakan dalam ketersediaan air, drainase perkotaan, ramalan dampak urbanisasi, desain pelimpah, pengurangan 32 kerusakan banjir, regulasi penanganan banjir, dan sistem operasi hidrologi (U.S Army Corps of Engineering, 2001).

Model HEC – HMS dapat memberikan simulasi hidrologi dari puncak aliran harian untuk perhitungan debit banjir rencana dari suatu DAS (Daerah Aliran Sungai). Model HEC-HMS mengemas berbagai macam metode yang digunakan dalam analisis hidrologi. Dalam pengoperasiannya menggunakan basis sistem windows, sehingga model ini menjadi mudah dipelajari dan mudah untuk digunakan, tetapi tetap dilakukan dengan pendalaman dan pemahaman dengan model yang digunakan. Di dalam model HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam permodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik Snyder, Clark, SCS, ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas user define hydrograph (U.S Army Corps of Engineering, 2001). Sedangkan untuk menyelesaikan analisis hidrologi ini, digunakan hidrograf satuan sintetik dari SCS (soil conservation service) dengan menganalisis beberapa parameternya.

Langkah-langkah pengerjaan estimasi debit banjir pada daerah tangkapan hujan dengan model HEC-HMS dijabarkan sebagai berikut :

a. Basin Model (Model Daerah Tangkapan Air)

Pada basin model tersusun atas gambaran fisik daerah tangkapan air dan sungai. Elemen-elemen hidrologi berhubungan dengan jaringan yang mensimulasikan proses limpasan permukaan langsung (run off). Elemen-elemen yang digunakan untuk mensimulasikan limpasan adalah subbasin, reach, dan junction. Pemodelan hidrograf satuan memiliki kelemahan pada

luas area yang besar, maka perlu dilakukan pemisahan area basin menjadi beberapa sub basin berdasarkan percabangan sungai dan perlu diperhatikan batas-batas luas daerah yang berpengaruh pada DAS tersebut.

b. Sub Basin Loss Rate Method (Proses kehilangan air)

Loss rate method adalah pemodelan untuk menghitung kehilangan air yang terjadi karena proses infiltrasi dan pengurangan tampungan. Metode yang digunakan pemodelan ini adalah Initial and Constant Loss Method. Konsep dasar dari metode ini memperhitungkan rata-rata kehilangan air hujan yang terjadi selama hujan berlangsung. Infiltrasi merupakan hasil dari proses penyerapan air hujan oleh permukaan tanah, sedang pengurangan tampungan akibat dari perbedaan topografi pada suatu DAS. Air hujan yang jatuh akan diinfiltrasi atau dievaporasikan, hal ini akan sangat berpengaruh pada debit banjir yang akan mengalir pada sungai tersebut. Metode ini terdiri dari satu parameter (Constant Rate) dan satu kondisi yang telah ditentukan (Initial Loss), yang menggambarkan keadaan fisik DAS seperti tanah dan tata guna lahan.

c. Sub Basin Transform (Transformasi hidrograf satuan limpasan)

Transform adalah pemodelan metode hidrograf satuan yang digunakan. Unit hidrograf merupakan metode yang sangat familiar dan dapat diandalkan. Di HEC-HMS, hidrograf SCS dapat digunakan dengan mudah, parameter utama yang dibutuhkan adalah waktu lag yaitu tenggang waktu (time lag) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf. Rumus= $tL=L0.8 \times (S+1)0.71900 \times Y0.5$ (2-33)

Dengan:

L = Panjang overland flow (ft)

S = Retensi maksimum (inchi)

$$S = 1000CN^{-10} \quad (2-34)$$

CN= Curve number, yang berisi pengaruh dari tanah, tata guna lahan, kondisi hidrologi dan soil moisture.

Panjang overland flow dapat dicari dengan rumus berikut:

Untuk catchment simetrik dapat dihitung dengan persamaan Panjang= Luas² x panjang saluran

Sedangkan untuk daerah aliran satu sisi, panjang aliran permukaan dapat dihitung dengan persamaan: Panjang= Luas panjang saluran

d. Meteorologic Model (Model data curah hujan)

Meteorologic Model merupakan masukan data curah hujan (presipitasi) efektif dapat berupa 15 menit atau jam-jaman. Desain hyetograph harus didasarkan pencatatan kejadian hujan nyata. Perlu diperhatikan curah hujan kawasan diperoleh dari hujan rata-rata metode 35 thiessen dengan memperhatikan pengaruh stasiun-stasiun curah hujan pada kawasan tersebut. Curah hujan jam jaman tersebut dapat digambarkan menjadi sebuah stage hyetograph.

e. Run Configuration (Konfigurasi eksekusi data)

Setelah semua variabel masukan diatas dimasukkan, untuk mengeksekusi pemodelan agar dapat berjalan, maka basin model dan meteorologic model harus disatukan. Hasil eksekusi metode ini dapat dilihat dalam grafik dan nilai outputnya. Untuk melihat hasil grafik limpasan atau tabel dapat langsung dengan mengklik elemen, simpul maupun penghubung elemen.

Program aplikasi ini mencakup banyak prosedur analisis hidrologi tradisional seperti peristiwa infiltrasi, hidrograf, dan rute hidrologi. HEC-HMS juga mencakup

prosedur yang diperlukan untuk simulasi berkelanjutan termasuk evapotranspirasi, pencairan salju, dan penghitungan kelembaban tanah. Alat analisis tambahan disediakan untuk optimasi model, peramalan aliran, pengurangan luas area, menilai ketidakpastian model, erosi dan transportasi sedimen, dan kualitas air.

Perangkat lunak ini memiliki lingkungan kerja yang terintegrasi sepenuhnya termasuk database, utilitas entri data, mesin komputasi, dan alat pelaporan hasil. Antarmuka pengguna grafis memungkinkan gerakan mulus pengguna diantara berbagai bagian perangkat lunak. Hasil simulasi disimpan dalam HEC-DSS (Sistem Penyimpanan Data) dan dapat digunakan bersama dengan perangkat lunak lain untuk studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, dampak urbanisasi dimasa mendatang, desain spillway reservoir, pengurangan kerusakan akibat banjir, regulasi dataran banjir, dan operasi sistem.

Komponen utama dalam model HEC-HMS adalah sebagai berikut.

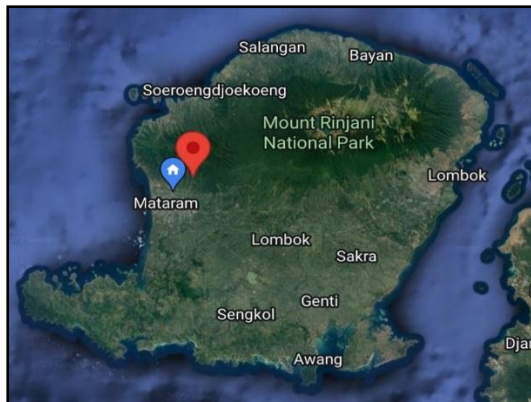
1. Basin model yang berisi elemen-elemen DAS, hubungan antar dan parameter aliran.
2. Meteorologic model yang berisi data hujan dan penguapan.
3. Control specifications yang berisi waktu mulai dan berakhirnya hitungan.
4. Time series data yang berisi data hujan dan debit.
5. Paired data yang berisi pasangan data seperti hidrograf satuan.

C. METODE PENELITIAN

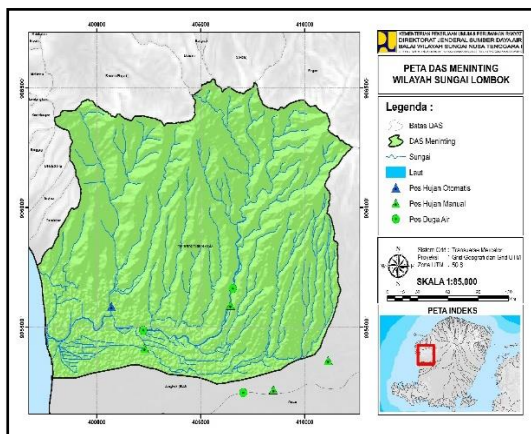
Lokasi Penelitian

Studi untuk penelitian ini dilakukan pada DAS Meninting

Kabupaten Lombok Barat, Kecamatan Lingsar, Provinsi Nusa Tenggara Barat.



Gambar 1. Lokasi studi (*Google earth*).



Gambar 2. Peta DAS Meninting Kabupaten Lombok Barat, NTB (*Badan Wilayah Sungai NusaTenggara1*).

Langkah Studi

Pelaksanaan studi analisis debit banjir di DAS Meninting Kabupaten Lombok Barat dengan menggunakan software HEC-HMS v4.9.1 dilakukan beberapa tahap, antara lain :

Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini meliputi pengumpulan literature-literatur, referensi, dan hasil dari penelitian sebelumnya terkait dengan software HEC-HMS. Dengan adanya tahap persiapan ini akan memberikan gambaran tentang langkah-langkah yang akan diambil selanjutnya.

Tahap Pengumpulan Data

Dalam tahap ini data sekunder diperoleh melalui kajian pustaka, maupun instansi terkait seperti Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I dan Badan Pusat Statistik (BPS) NTB.

Tahap Pengolahan Data

1. Data hujan dan Data debit

Data hujan yang dikumpulkan adalah data hujan harian yang tercatat dari stasiun hujan di daerah sekitar DAS Meninting yang diperoleh dari Balai Informasi Wilayah Sungai Nusa Tenggara I.

Adapun data hujan yang diambil merupakan data dari stasiun hujan Lombok Barat. Data hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hujan harian tahun 2002-2021. Sedangkan data debit yang digunakan adalah data debit tahun 2002-2021.

Tahap Analisis Data

Dalam tahap ini dilakukan dengan menggunakan software Microsoft excel, Autocad, ArcGIS versi 10.5, dan HEC-HMS versi 4.9.1. Adapun beberapa tahapan dalam menganalisis data sebagai berikut.

1. Uji konsistensi data

Uji konsistensi data dilakukan untuk mengetahui kepangghahan data hujan dari

stasiun hujan Gunung Sari sebelum digunakan untuk simulasi model. Uji konsistensi data dilakukan dengan menggunakan metode RAPS.

2. Uji kecocokan agihan

Untuk mengetahui data tersebut benar sesuai agihan yang dipilih maka perlu dilakukan pengujian kecocokan data. Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk menguji apakah jenis agihan yang dipilih sesuai dengan data yang ada, yaitu uji chi kuadrat dan uji smirnov-kolmogorov.

3. Simulasi model

Simulasi model dalam penelitian ini digunakan untuk mencari nilai debit banjir yang terjadi pada DAS Meninting. Perhitungan simulasi model dalam HEC-HMS membutuhkan parameter DAS dan data hujan yang seragam. Untuk data hujan yang seragam digunakan data hujan tahun 2002-2021.

4. Kalibrasi model

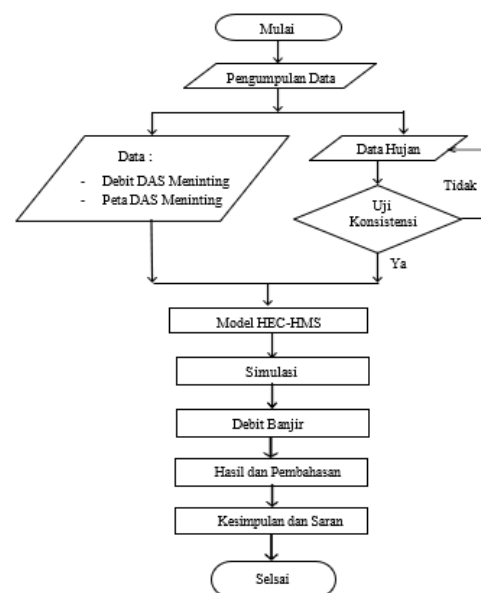
Kalibrasi dalam program HEC-HMS dimaksudkan untuk memperkirakan besaran parameter dan kondisi awal. Kalibrasi ini memerlukan data debit terukur dan data hujan rentang waktu yang sama. Kriteria nilai yang mirip antara grafik debit terukur dengan debit terhitung. Selain mencocokkan grafik tersebut, kriteria lain yaitu nilai *objective function* sekecil mungkin dan perbedaan volume antar volume debit terukur dan debit terhitung lebih kecil dari 10%. Apabila perbedaan atau % *difference* antara volume debit terukur dengan debit terhitung lebih dari 10% maka proses kalibrasi harus diulang lagi dengan merubah parameter DAS. Proses kalibrasi dilakukan dengan cara *trial and error* sampai diperoleh % *difference* kurang atau sama dengan 10%. Kalibrasi untuk *lowflow* di DAS Meninting menggunakan data debit harian dari hasil kalibrasi yang terbaik dari tahun 2002-2021. Sedangkan data hujan yang digunakan adalah data hujan harian pada

tahun yang sama dengan data debit dan data klimatologi.

5. Debit banjir

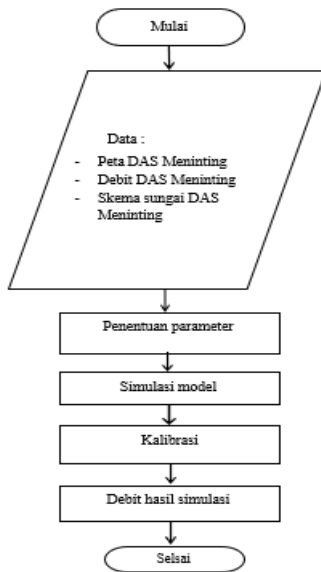
Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan simulasi debit banjir dengan menggunakan software HEC-HMS di sekitar DAS Meninting dengan skenario adanya bendungan dan tanpa adanya bendungan Meninting, untuk mengetahui perbandingan perbedaan debit banjir tersebut. Untuk masukan data digunakan data hujan tahun 2002- 2021.

Bagan Alir Studi



Gambar 3. Bagan alir studi.

Bagan Alir Software HEC-HMS



Gambar 4. Bagan alir software HEC-HMS.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Konsistensi Data

Metode yang digunakan untuk uji konsistensi data adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Data hujan yang akan diuji konsistensi datanya adalah data hujan harian pada stasiun ARR Meninting. Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian tahun 2002-2021. Adapun hasil perhitungan uji RAPS membandingkan nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} hitungan dengan tabel :

- Berdasarkan perhitungan

$$Q/\sqrt{n} = 0,649$$

$$R/\sqrt{n} = 0,777$$

- Berdasarkan Tabel 2.1 Persentase nilai Q/\sqrt{n} dan R/\sqrt{n} Dengan menggunakan kepercayaan 99 %, maka diperoleh :

$$Q/\sqrt{n} = 1,42$$

$$R/\sqrt{n} = 1,60 \text{ Menentukan konsistensi :}$$

$$Q/\sqrt{n} \text{ hitungan} < Q/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

$$0,649 < 1,42 \text{ (Konsisten)}$$

$$R/\sqrt{n} \text{ hitungan} < R/\sqrt{n} \text{ tabel}$$

$$0,777 < 1,60 \text{ (Konsisten)}$$

Curah Hujan Rencana

Pada studi ini analisis curah hujan rencana menggunakan tipe sebaran *Normal*. Adapun hasil perhitungan hujan rencana dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 1. Curah hujan rencana.

Priode Ulang (tahun)	X_{rt}	S_x	K	X_i
2	86	23.896	0	86
5	86	23.896	0.84	106.0726
10	86	23.896	1.28	116.5869
20	86	23.896	1.64	125.1894
50	86	23.896	2.05	134.9868
100	86	23.896	2.33	141.6777
500	86	23.896	2.88	154.8205
1000	86	23.896	3.09	159.8386

Untuk Menguji bahwa distribusi yang dipilih cocok atau tidak maka dilakukan Uji kecocokan *Chi-Square* dan Uji *Smirnov-Kolmogorov*. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5 berikut.

Tabel 2. Hasil analisis uji *Chi-Square* data hujan DAS Meninting.

Kelas	Interval	Of	Ef	(Of - Ef)	(Of - Ef) ²	(Of - Ef) ² /Ef
1	P < 93.600	4	7	-3.021	9.126	1.300
2	93.600 < P < 117.200	8	8	-0.425	0.181	0.021
3	117.200 < P < 140.8	4	3	0.774	0.599	0.186
4	140.8 < P < 164.400	3	1	2.051	4.208	4.435
5	164.400 < P < 188.000	1	0	0.620	0.385	1.015
Jumlah		20	20	0	14.498	6.956

Selanjutnya, mencari nilai Chi Square hitungan dengan persamaan berikut ;

$$X^2_h = \sum_{i=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} = 6,956$$

Kemudian membandingkan dengan nilai deviasi kritis, yakni untuk Derajat Kebebasan (DK) 3 dengan derajat kepercayaan 5% diperoleh nilai 7,81. Oleh karena $6,956 < 7,81$ maka data **DITERIMA**.

Tabel 3. Hasil analisis uji *Smirnov-Kolmogorov* data hujan DAS Meninting.

No	X_i	$P(X)$	$P'(x)$	$P'(X_i)$	D
1	55	0.05	0.05	0.151	0.103
2	57	0.10	0.14	0.174	0.078
3	57	0.14	0.29	0.174	0.031
4	66	0.19	0.48	0.275	0.085
5	68	0.24	0.71	0.298	0.060
6	69	0.29	1.00	0.309	0.024
7	73	0.33	1.33	0.355	0.021
8	73	0.38	1.71	0.355	0.026
9	74	0.43	2.14	0.366	0.063
10	75	0.48	2.62	0.377	0.099
11	84	0.52	3.14	0.479	0.045
12	92	0.57	3.71	0.569	0.002
13	93	0.62	4.33	0.581	0.039
14	97	0.67	5.00	0.626	0.041
15	97	0.71	5.71	0.626	0.089
16	97	0.76	6.48	0.626	0.136
17	109	0.81	7.29	0.761	0.048
18	111	0.86	8.14	0.784	0.073
19	129	0.90	9.05	0.987	0.083
20	142	0.95	10.00	1.134	0.182
Mean (\bar{X})	86			Δ_{max}	0.182
SD	23.291				
$\Delta_{cr} = 0.156 < 0.29$ dengan derajat kepercayaan 5% (DITERIMA)					

Selanjutnya, nilai Δ_{max} dibandingkan dengan nilai Δ_{cr} , yakni untuk jumlah data (n) 20 dengan derajat kebebasan 5% adalah 0,29. Dengan demikian dapat diketahui bahwa $\Delta_{max} < \Delta_{cr}$ sehingga data hujan dengan menggunakan uji *Smirnov-Kolmogorov* dinyatakan **DITERIMA**.

Dari uji *Chi-Square* dan uji *Smirnov-Kolmogorov* dapat dilihat bahwa hasil distribusi data menggunakan *Normal* dapat diterima. Oleh karena itu, distribusi *Normal* dapat digunakan untuk menentukan hujan desain berbagai kala ulang di DAS Meninting Kabupaten Lombok Barat.

Curah Hujan Jam-jaman

Dalam penelitian ini hanya terdapat data curah hujan harian, maka untuk mengubahnya menjadi data hujan jam-jaman dihitung dengan metode *Modified Mononobe*. Adapun hasil perhitungan hujan jam-jaman dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 4. Distribusi hujan jam-jaman tiap kala ulang.

Besar Hujan Jam Ke-	Kala Ulang					
	2	5	10	20	50	100
1	47.33	58.37	64.16	68.89	68.89	68.89
2	29.81	36.77	40.42	43.40	43.40	43.40
3	22.75	28.06	30.85	33.12	33.12	33.12
4	18.78	23.17	25.46	27.34	27.34	27.34
5	16.19	19.96	21.94	23.56	23.56	23.56
6	14.33	17.68	19.43	20.86	20.86	20.86
7	12.93	15.95	17.53	18.83	18.83	18.83
8	11.83	14.59	16.04	17.22	17.22	17.22
9	10.94	13.49	14.83	15.92	15.92	15.92
10	10.20	12.58	13.82	14.84	14.84	14.84
11	9.57	11.80	12.97	13.93	13.93	13.93
12	9.03	11.14	12.24	13.14	13.14	13.14
13	8.56	10.56	11.60	12.46	12.46	12.46
14	8.15	10.05	11.05	11.86	11.86	11.86
15	7.78	9.60	10.55	11.33	11.33	11.33
16	7.45	9.19	10.10	10.85	10.85	10.85
17	7.16	8.83	9.70	10.42	10.42	10.42
18	6.89	8.50	9.34	10.03	10.03	10.03
19	6.65	8.20	9.01	9.68	9.68	9.68
20	6.42	7.92	8.71	9.35	9.35	9.35
21	6.22	7.67	8.43	9.05	9.05	9.05
22	6.03	7.43	8.17	8.77	8.77	8.77
23	5.85	7.22	7.93	8.52	8.52	8.52
24	5.69	7.02	7.71	8.28	8.28	8.28

Simulasi Model HEC-HMS

Proses simulasi HEC-HMS dilakukan dengan cara pembuatan simulasi awal kemudian melakukan kalibrasi untuk mengoptimasi parameter. Selanjutnya dilakukan simulasi akhir dengan input parameter yang diperoleh pada proses kalibrasi. Sehingga hasil akhirnya akan diperoleh nilai debit banjir yang terjadi pada daerah aliran sugai.

Sebelum dilakukan simulasi awal pada *software* HEC-HMS, maka perlu dilakukan perhitungan nilai parameter terlebih dahulu. Untuk lebih jelasnya akan dilampirkan pada tabel-tabel berikut :

Tabel 5. Nilai parameter awal SCS-SN DAS Meninting.

No	Sub DAS	Luas (Km2)	CN	Smax	Initial Abtraction	% Impervious	L (km)	L (m)
1	Sub DAS 1	33.26946	63.855	143.78	28.755	10	12.96	12963.00
2	Sub DAS 2	46.173018	89.272	30.52	6.105	10	20.07	20066.00
3	Sub DAS 3	22.152257	91.978	22.15	4.431	10	10.24	10240.80
4	Sub DAS 4	33.53281	74.24	88.13	17.627	10	10.39	10394.40
5	Sub DAS 5	11.778808	95	13.37	2.674	10	6.81	6806.90

Tabel 6. Nilai parameter awal SCS-UH DAS Meninting.

No	Sub DAS	Tc	Tlag (h)	Tlag (min)
1	Sub DAS 1	7.328	4.397	263.807
2	Sub DAS 2	8.063	4.838	290.275
3	Sub DAS 3	4.606	2.764	165.831
4	Sub DAS 4	5.466	3.279	196.760
5	Sub DAS 5	3.246	1.947	116.843

Tabel 7. Nilai parameter awal *routing* sungai pada DAS Meninting.

Element	Panjang		Kemiringan (S)	Tc (Jam)	tp (menit)
	m	km			
Reach 1	7725.310	7.725	20%	0.595	21.420
Reach 2	4346.871	4.347	20%	0.382	13.757
Reach 3	1998.850	1.999	20%	0.210	7.563

Setelah semua parameter awal ditentukan, selanjutnya melakukan simulasi awal dengan melakukan running test pada *software* HEC-HMS. Berikut hasil dari *running test software*.

Computed Results	
Peak Discharge:	22.0 (M3/S)
Precipitation Volume:	181.00 (MM)
Loss Volume:	92.43 (MM)
Excess Volume:	88.57 (MM)
Date/Time of Peak Discharge:	01Jan2002, 00:00
Direct Runoff Volume:	87.02 (MM)
Baseflow Volume:	1124.86 (MM)
Discharge Volume:	1211.89 (MM)

Observed Flow Gage Debit Januari 2002	
Peak Discharge:	29.1 (M3/S)
Volume:	1679.32 (MM)
RMSE Std Dev:	
Percent Bias:	%
Date/Time of Peak Discharge:	29Jan2002, 00:00
Nash-Sutcliffe:	

Gambar 5. Ringkasan hasil simulasi awal.

Setelah proses *running* selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan proses kalibrasi (optimasi). Kalibrasi adalah proses untuk menentukan nilai optimum parameter yang diinput kedalam model. Kalibrasi model bertujuan untuk memperoleh hidrograf

hasil simulasi model sama atau menyerupai hidrograf terukur.

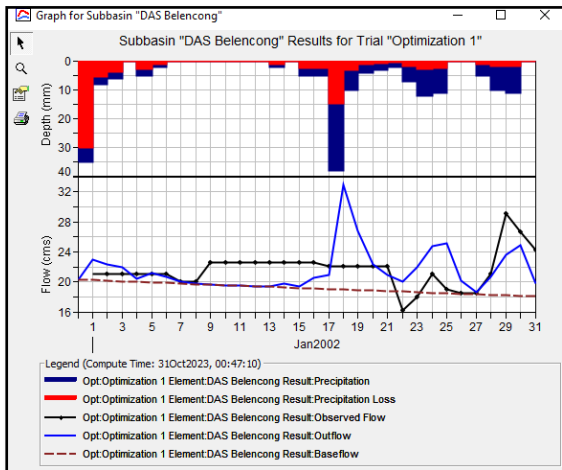
Setelah beberapa kali dilakukan kalibrasi parameter, didapatkan *Objective Function* terkecil 0.88. Perbedaan volume hasil simulasi dengan observasi 29,95 mm atau 3,62% (kurang dari 10%) seperti pada Gambar 6. Untuk hasil kalibrasi atau optimasi parameternya dapat dilihat pada Gambar 7. Sedangkan perbandingan hidrograf hasil simulasi dan hidrograf observasi dapat dilihat pada Gambar 8.

Measure	Simulated	Observed	Difference	Percent Difference
Volume (MM)	856.91	826.96	29.95	3.62
Peak Flow (M3/S)	32.9	29.1	3.8	13.0
Time of Peak	18Jan2002, 00:00	29Jan2002, 00:00		

Gambar 6. *Objective Function* yang didapat setelah kalibrasi.

Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
DAS Belencong	Recession - Initial Discharge	M3/S	21.59	20.869
DAS Belencong	Recession - Ratio to Peak		0.018	0.35295
DAS Belencong	Recession - Recession Constant		0.78	0.99391
DAS Belencong	SCS Curve Number - Curve Number		81.36	67.458
DAS Belencong	SCS Curve Number - Initial Abstract...	MM	11.64	21.048
DAS Belencong	SCS Unit Hydrograph - Lag Time	MIN	12.168	14.360

Gambar 7. Hasil kalibrasi atau optimasi parameter.

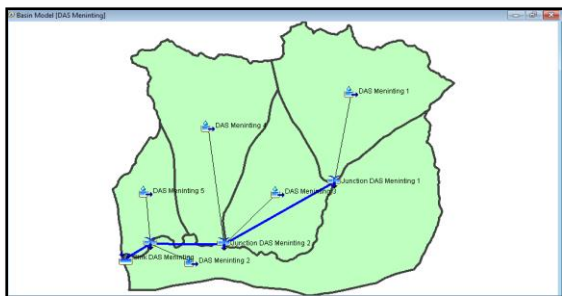


Gambar 8. Perbandingan hidrograf hasil simulasi dengan hidrograf observasi.

Setelah nilai parameter didapatkan melalui proses kalibrasi (optimasi), selanjutnya dilakukan simulasi dengan data tahun 2002-2021 dengan menggunakan nilai parameter hasil optimasi yang telah didapatkan sebelumnya. Proses simulasi akhir ini dilakukan dengan cara yang sama seperti pada simulasi awal. Pada studi ini, dalam simulasi akhir dilakukan dua tahapan yakni tahapan awal dengan skema tidak ada bendungan dan tahapan kedua dengan skema ada bendungan.

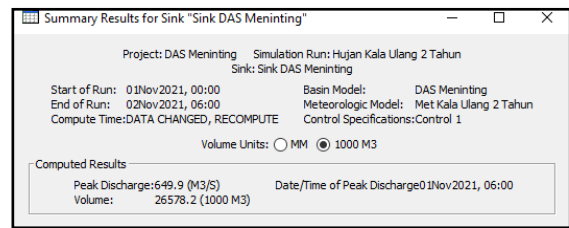
Skema Tanpa Bendungan

Komponen DAS untuk simulasi dengan skema tanpa bendungan dapat dilihat seperti pada Gambar 9 berikut.

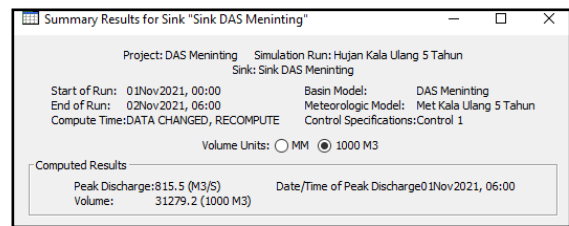


Gambar 9. Komponen DAS dengan skema tanpa bendungan.

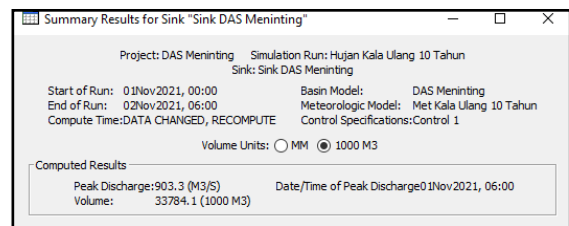
Selanjutnya nilai debit banjir DAS Meninting dengan skema tanpa bendungan untuk setiap periode waktu, yaitu kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun didapatkan setelah proses running data masukan selesai. Rincian nilai debit banjir dan volume banjir untuk setiap kala ulang adalah sebagai berikut :



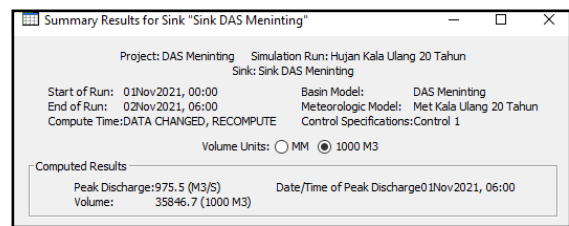
Gambar 10. Summary Result Kala Ulang 2 Tahun DAS Meninting.



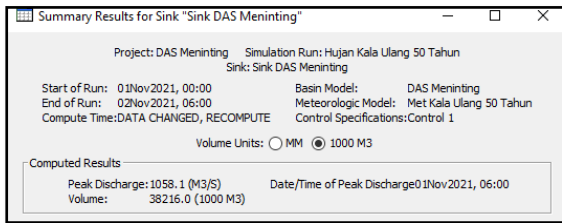
Gambar 11. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun DAS Meninting.



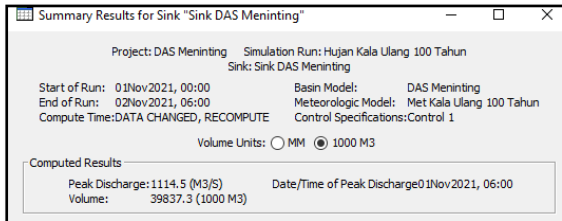
Gambar 12. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun DAS Meninting.



Gambar 13. Summary Result Kala Ulang 20 Tahun DAS Meninting.



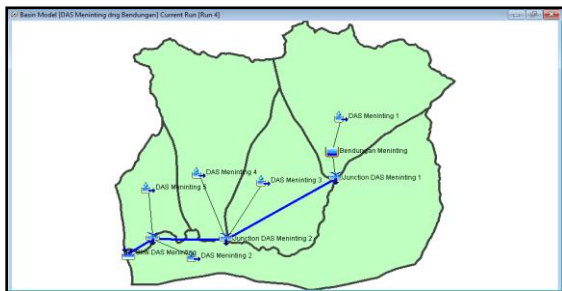
Gambar 14. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun DAS Meninting.



Gambar 15. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun DAS Meninting.

Skema Dengan Bendungan

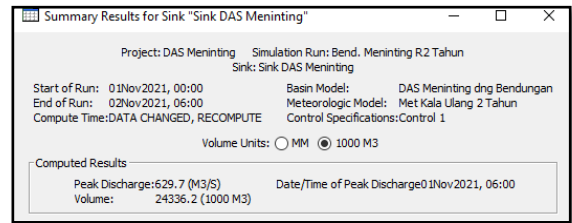
Komponen DAS untuk simulasi pada skema dengan bendungan dapat dilihat seperti pada Gambar 16 berikut.



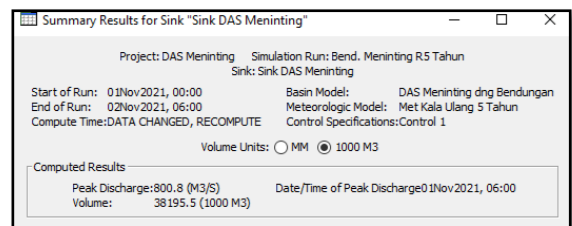
Gambar 16. Komponen DAS pada skema dengan bendungan.

Selanjutnya nilai debit banjir DAS Meninting dengan skema adanya bendungan Meninting untuk setiap periode waktu, yaitu kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 taun, 20 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun didapatkan setelah proses running data masukan selesai. Pada simulasi ini data tambahan yang diinput adalah data teknis dan data kurva tampungan bendungan Meninting. Rincian nilai debit banjir dan

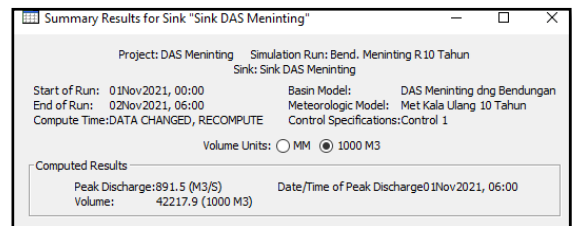
volume banjir untuk setiap kala ulang adalah sebagai berikut :



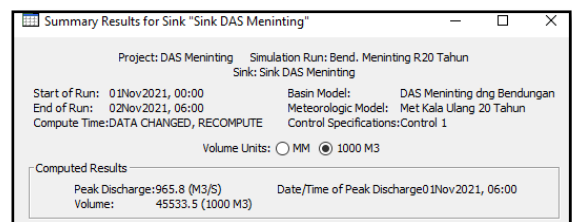
Gambar 17. Summary Result Kala Ulang 2 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.



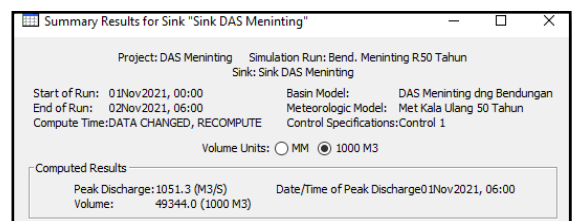
Gambar 18. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.



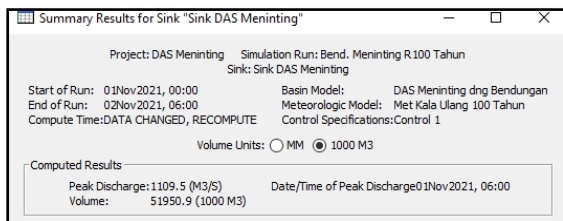
Gambar 19. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.



Gambar 20. Summary Result Kala Ulang 20 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.



Gambar 21. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.



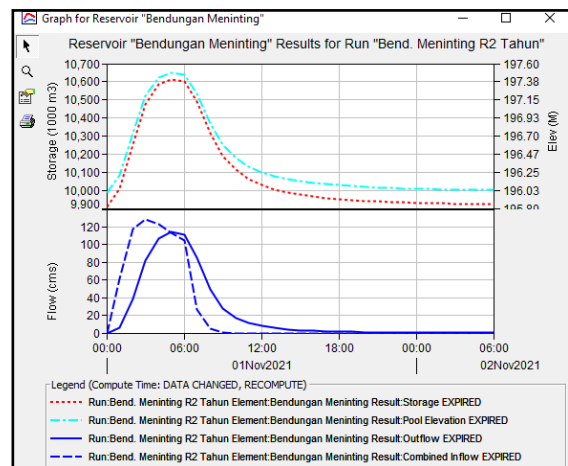
Gambar 22. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun DAS Meninting Bendungan Meninting.

Nilai debit banjir yang terjadi pada DAS Meninting dengan skema tanpa bendungan dan skema dengan pengaruh bendungan, dapat disimpulkan pada Tabel 10 berikut.

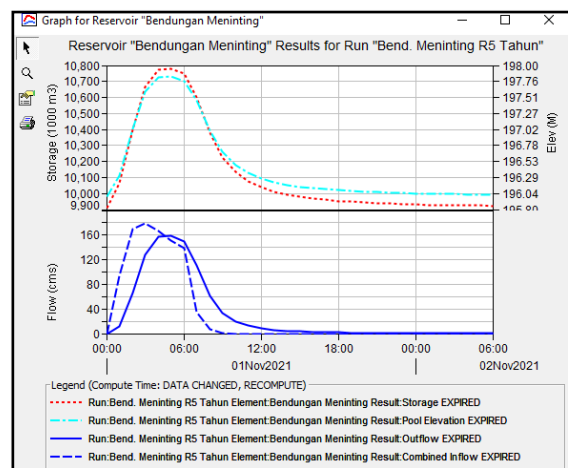
Tabel 10. Perbandingan debit banjir DAS Meninting asumsi tanpa bendungan dan dengan bendungan.

Kala Ulang (tahun)	Debit Banjir DAS Meninting (m ³ /s)		Reduksi (m ³ /s)	Persentase (%)
	Tanpa Bendungan	Dengan Bendungan		
2	649.9	629.7	20.2	3.11
5	815.5	800.8	14.7	1.80
10	903.3	891.5	11.8	1.31
20	975.5	965.8	9.7	0.99
50	1058.1	1051.3	6.8	0.64
100	1114.5	1109.5	5	0.45
Rata-rata				1.38

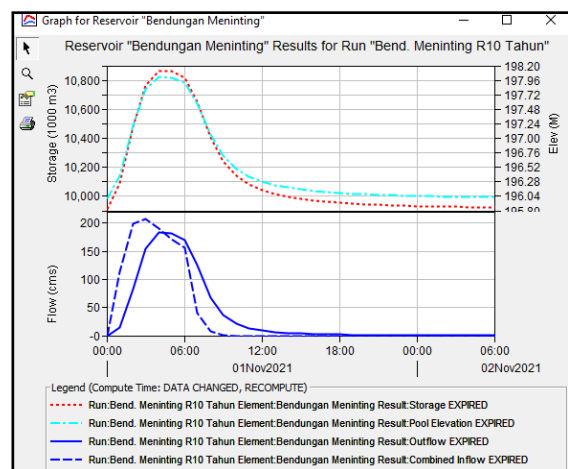
Berdasarkan Tabel 10 diatas, terlihat bahwa ada penurunan (reduksi) debit banjir rencana yang dihasilkan oleh bendungan Meninting pada simulasi pemodelan dalam software HEC-HMS. Namun, reduksi yang terjadi cukup besar dengan rata-rata sebesar 1.38%. Hal ini disebabkan karena dalam simulasi ini bendungan Meninting hanya mengambil daerah tangkapan air hujan dari subDAS 1, dimana luas subDAS 1 hanya 33.26 km² dari total luas DAS Meninting yakni 146.90 km². Oleh karena posisi bendungan yang hanya mengambil daerah tangkapan hujan dari subDAS 1, maka reduksi yang lebih besar tentunya terjadi pada subDAS 1 tersebut.



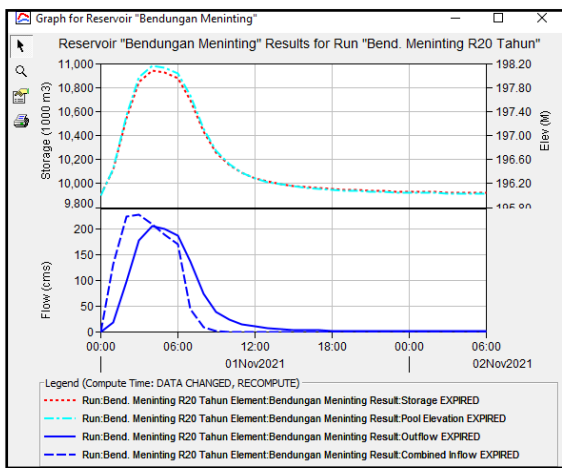
Gambar 23. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 2 Tahun.



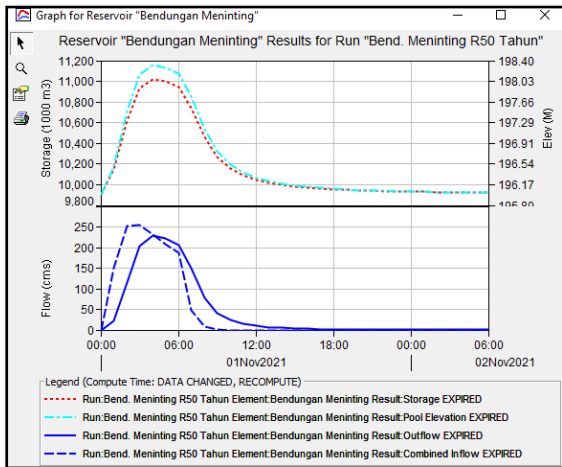
Gambar 24. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 5 Tahun.



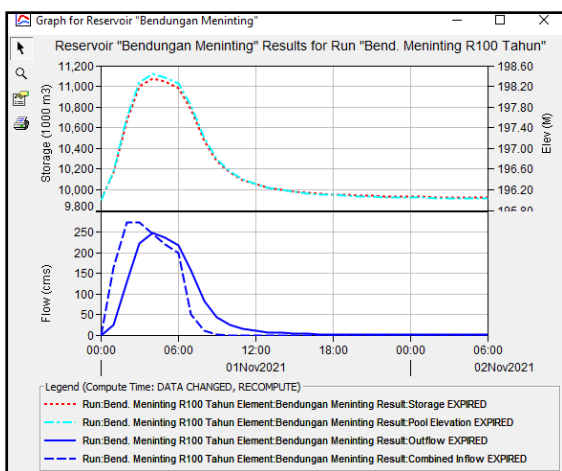
Gambar 25. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 10 Tahun.



Gambar 26. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 20 Tahun.



Gambar 27. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 50 Tahun.



Gambar 28. Hidrograf banjir bendungan Meninting Kala Ulang 100 Tahun.

Untuk lebih jelasnya, besar debit banjir yang dapat direduksi oleh Bendungan Meninting pada subDAS1 dapat disimpulkan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Reduksi debit banjir pada subDAS1.

Kala Ulang (tahun)	Inflow (m ³ /s)	Outflow (m ³ /s)	Reduksi (m ³ /s)	Persentase (%)
2	129.1	114.1	15.0	11.6
5	179.2	158.5	20.7	11.6
10	206.4	183.3	23.1	11.2
20	228.8	204.7	24.1	10.5
50	254.7	230.0	24.7	9.7
100	272.6	247.4	25.2	9.2
Rata-rata				10.6

Berdasarkan Tabel 11 diatas dapat dilihat bahwa reduksi banjir yang terjadi pada subDAS 1 akibat pengaruh bendungan Meninting cukup besar dan berbanding lurus dengan kala ulang rencana dengan rata-rata reduksinya sebesar 10,6%.

Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi awal dilanjutkan dengan proses kalibrasi guna untuk mendapatkan nilai parameter yang pas. Berdasarkan hasil kalibrasi pada simulasi awal HEC-HMS yang menggunakan data bulan Januari tahun 2002, nilai Objective Function terkecil yang telah didapatkan yaitu sebesar 0.88 persen perbedaan volume antara hasil simulasi dengan observasi adalah 0.36% (perbedaan kurang dari 10%). Sedangkan untuk grafik hidrograf simulasi dan hidrograf hasil observasi tampak tidak terlalu mirip. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh nilai parameter-parameter yang dimasukkan sebagai kondisi awal kurang tepat untuk digunakan sebagai parameter kondisi tahun yang lain, hal ini bisa jadi disebabkan karena adanya perubahan sifat fisik DAS selama periode analisis. Selain itu kemungkinan kesalahan pada tahap analisis juga bisa disebabkan dari kesalahan data pengukuran, utamanya data hujan sebagai masukan model. Atau bisa juga disebabkan karena kerusakan pada alat pengukuran sehingga

menyebabkan keakuratan data yang dihasilkan berkurang.

Selanjutnya, pada tahap simulasi akhir dari Tabel 4.12 Debit banjir untuk setiap kala ulang, terlihat bahwa besar debit banjir untuk basin DAS Meninting dengan asumsi tanpa bendungan dan asumsi dengan bendungan tidak terlalu jauh perbedaannya. Hal ini dipengaruhi oleh posisi bendungan yang hanya mengambil daerah tangkapan air hujan dari subDAS 1, dimana luasan subDAS 1 berdasarkan hasil pembagian subDAS adalah sebesar 33.26 km² sehingga reduksi banjir yang dihasilkan juga tidak terlalu besar. Dengan demikian, analisis debit banjir rencana menggunakan software HEC-HMS dapat menghasilkan debit banjir suatu DAS yang cukup baik, serta menunjukkan kemampuan bangunan air yang dalam hal ini bendungan Meninting dalam mereduksi banjir pada DAS Meninting.

Berdasarkan hasil yang diperoleh ternyata bendungan Meninting belum cukup untuk mengatasi banjir yang terjadi di Kabupaten Lombok Barat. Maka dari itu, perlu adanya penambahan komponen bangunan air seperti embung dan bendungan di hilir DAS Meninting, serta perlunya dilakukan perbaikan kembali kondisi bendungan dan saluran sungai, karena bisa jadi banjir tetap terjadi karena pengaruh sedimen yang terus bertambah dan menumpuk. Hal tersebut diharapkan dapat menjadi alternatif sehingga reduksi banjir pada DAS Meninting akan lebih besar dan tentunya akan mengurangi potensi banjir pada Kabupaten Lombok Barat.

E. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan debit banjir rencana untuk DAS Meninting pada kala ulang 2 tahun adalah 649,9 m³/s, kala ulang 5 tahun

adalah 815,5 m³/s, kala ulang 10 tahun adalah 903,3 m³/s, kala ulang 20 tahun adalah 975,5 m³/s, kala ulang 50 tahun adalah 1058,1 m³/s, dan kala ulang 100 tahun adalah 1114,5 m³/s.

2. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan, didapatkan debit banjir rencana untuk asumsi DAS Meninting dengan bendungan Meninting pada kala ulang 2 tahun adalah 629,7 m³/s, kala ulang 5 tahun adalah 800,8 m³/s, kala ulang 10 tahun adalah 891,5 m³/s, kala ulang 20 tahun adalah 965,8 m³/s, kala ulang 50 tahun adalah 1051,3 m³/s, dan kala ulang 100 tahun adalah 1109,5 m³/s.

3. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan pada asumsi DAS Meninting dengan bendungan Meninting, didapatkan reduksi banjir pada kala ulang 2 tahun sebesar 11,6%, kala ulang 5 tahun sebesar 11,6%, kala ulang 10 tahun sebesar 11,2%, kala ulang 20 tahun 10,5%, kala ulang 50 tahun sebesar 9,7%, dan kala ulang 100 tahun sebesar 9,2%. Sehingga rata-rata reduksi banjir akibat Bendungan Meninting pada DAS Meninting dengan analisis menggunakan software HEC-HMS adalah sebesar 10,6%. Dengan demikian, simulasi dengan bendungan Meninting belum cukup untuk mengatasi banjir yang terjadi di Kabupaten Lombok Barat.

Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Perlunya penambahan komponen bangunan air seperti embung dan bendungan pada hilir DAS Meninting, serta perlunya dilakukan perbaikan kembali kondisi bendungan dan saluran sungai, karena bisa jadi banjir tetap terjadi karena pengaruh sedimen yang terus

bertambah dan menumpuk. Alternatif tersebut diharapkan dapat mengantisipasi kejadian banjir pada masa yang akan datang pada Kabupaten Lombok Tengah.

2. Dalam melakukan simulasi awal disarankan menggunakan interval waktu yang lebih pendek guna untuk mendapatkan hidrograf hasil simulasi model sama atau menyerupai hidrograf terukur.

3. Dalam melakukan kalibrasi model, kualitas data yang tersedia dan input parameter awal sangat menentukan hasil kalibrasi, hal tersebut juga sangat menentukan hasil analisis. Oleh karena itu, dalam menentukan parameter awal sangat perlu diperhatikan dan dipastikan data-datanya.

4. Sebelum melakukan analisis, alangkah baiknya melakukan pengecekan data terlebih dahulu, terutama data dari instansi, karena beberapa data yang telah didapatkan untuk studi ini ada yang tidak sesuai.

5. Pemahaman mengenai software HEC-HMS sangat dibutuhkan demi mendapatkan hasil analisis yang baik dan benar.

Daftar Pustaka

Akbar, N. R. (2021). Simulasi Komputasi Debit Sungai Takalalla (Studi Kasus Dusun Takalalla Kab. Sinjai) [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Makassar].
Repositori Universitas Muhammadiyah Makassar.

Anggorowati, M. (2014). Analisis Area Luapan Banjir Akibat Kenaikan Debit Air Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus :

Das Banjir Kanal Timur Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(4), 233.

Elisa. 2016. *Fenomena Aliran Sungai*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.

Feldman, A.D. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference*. U.S. Army Corps of Engineers. 609 Second St. Davis. Ca. 95616-4678.

Fleming, M.J. 2009. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Quick Start Guide*. U.S. Army Corp of Engineers. Davis. CA.

Fuadi, Zahrul.2008. *Tinjauan Daerah Aliran Sungai Sebagai Sistem Ekologi Dan Manajemen Daerah Aliran Sungai*. Lentera : Vol 6, No.1.

Harsoyo, Budi. 2010. Review Modeling Hidrologi DAS di Indonesia. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vo.11, No. 1.

Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Hydrologic Engineering Center. 2001. *HEC-HMS Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.

- Hydrologic Engineering Center. 2022. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manua*. Version 4.7.1 U.S. Army Corps Of Engineers.
- Isa, Mohamad, Jeffry S. F. Sumarauw, dan Liany A. Hendratta. (2020). *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Marisa Kecamatan Limboto Barat Kabupaten Gorontalo*. Jurnal Sipil Statik. 8(4).
- Kezia, Mahmud Achmad, dan Faridah.(2017). *Hydrograph Debit Banjir Rencana pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Tallo Makassar dengan Model Hidrologi HEC- HMS*. Jurnal AgriTechno, 10(2), 3.
- Musshoghir, A.J.W., (2014), Analisis Time Lag Metode Hidrograf Satuan Sintetik SCS. Tugas Akhir. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjja Mada
- Pariartha, I Putu S., I Kadek D.A., dan Mawiti I.Y.(2021). *Analisis Debit Rencana Tukad Unda Bagian Hilir Menggunakan HEC-HMS*. Jurnal Teknik Pengairan.12(2), 116-126.
- Saopan, M. (2014). Analisis Debit Banjir Rancangan Di Das Meninting Akibat Perubahan Penggunaan Lahan [Skripsi, Universitas Mataram]. Repositori Universitas Mataram.
- Yudi, Irwandi. 2020. *Analisis Debit Banjir di Sekitar Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika dengan Menggunakan Software HEC-HMS*. (Skripsi, Universitas Matram). Repositori Universitas Mataram.