

Optimasi Pemodelan Hujan Limpasan dan Analisis Genangan Banjir untuk Evaluasi Dampak Infrastruktur DAS Rea

Optimization of Rainfall Runoff Modeling and Flood Inundation Analysis for Infrastructure Impact Evaluation in Rea River Basin

Ida Wayan Amitaba^{1)*} Asrul Pramudiya²⁾ Hendra Ahyadi³⁾ Lalu Sigar Canggih Ranesa⁴⁾

¹⁾Balai Besar Wilayah Sungai Nusa Tenggara I
Mataram- NTB, Indonesia

²⁾ Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk Cisanggarung
Cisanggarung – Cirebon, Indonesia

³⁾ Balai Besar Wilayah Sungai Brantas
Surabaya, Indonesia

*Corresponding author: wayan.amitaba@pu.go.id

Diterima: 03 Januari 2025; Direvisi: 26 Februari 2025; Disetujui: 09 November 2025

Abstract

Flood disasters, with their increasingly common occurrence and shorter peak discharge times, have led to more significant runoff and elevated flood risks. Taliwang City, the economic center of West Sumbawa Regency, is particularly vulnerable to flooding, despite the presence of the natural reservoir, Lake Lebo Taliwang. The construction of the parallel Bintang Bano and Tiu Suntuk dam is expected to significantly reduce flood impacts. This study aims to analyze peak flood discharge and conduct flood inundation modeling to assess how reservoir routing from dam inflow and Lake Lebo Taliwang affects flood conditions in the Rea watershed. Flood discharge analysis was performed by converting rainfall data into flow hydrographs using HEC-HMS software, while flood inundation modeling was carried out using HEC-RAS (2D) software. The input for the HEC-RAS model included flood inflow from the Rea sub-watershed, differentiated by the 50-year return period (Q₅₀) discharge, both before and after considering the effects of reservoir routing. The results showed a significant reduction in peak discharge for the Q₅₀ return period post-dam construction, decreasing from 3,198.42 m³/s to 1,575.72 m³/s—a reduction of 50.73%. Additionally, the area affected by flooding shrank by a substantial 33.96%, from 4,016 hectares to 2,652 hectares, demonstrating the practical benefits of the dam construction. The depth of flooding along the riverbanks decreased from 1.14 meters to 0.63 meters, while it was reduced in Taliwang City from 0.42 meters to 0.08 meters.

Keywords: hydrological modeling, HEC-HMS, HEC-RAS, flood discharge computation, rainfall-runoff analysis

Abstrak

Bencana banjir cenderung mengalami peningkatan dengan waktu debit puncak banjir yang makin pendek. Hal tersebut berakibat pada peningkatan jumlah limpasan yang menciptakan tingginya risiko banjir. Pusat perekonomian Kabupaten Sumbawa Barat (Kota Taliwang) yang terletak di hilir daerah aliran sungai (DAS) Rea sangat rentan tergenang banjir, walaupun secara topografi telah memiliki reservoir alami Danau Lebo Taliwang. Pembangunan bendungan paralel Bintang Bano dan Tiu Suntuk diharapkan dapat mengurangi genangan banjir yang terjadi. Penelitian ini bertujuan menganalisis debit puncak banjir dan pemodelan genangan banjir untuk mengetahui pengaruh penelusuran banjir tampungan debit inflow bendungan dan danau Lebo Taliwang terhadap kondisi genangan banjir di DAS Rea. Analisis debit banjir dilakukan dengan mentransformasi hujan menjadi hidrograf aliran menggunakan software HEC-HMS sedangkan pemodelan genangan banjir menggunakan software HEC-RAS (2D). Kondisi input dalam model HEC-RAS berupa inflow banjir pada sub DAS Rea, dibedakan berdasarkan debit kala ulang Q₅₀ sebelum dan sesudah adanya efek penelusuran banjir tampungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembangunan bendungan mampu menurunkan debit puncak Q₅₀ hingga 50,73% (dari 3.198,42 m³/s menjadi 1.575,72 m³/s) serta mengurangi luas genangan banjir sebesar 33,96% (dari 4.016 ha menjadi 2.652 ha). Tinggi genangan juga menurun, yakni dari 1,14 m menjadi 0,63 m di bantaran sungai dan dari 0,42 m menjadi 0,08 m di kawasan Kota Taliwang.

Kata Kunci: pemodelan hidrologi, HEC-HMS, HEC-RAS, perhitungan debit banjir, DAS Rea, analisis hujan – limpasan.

PENDAHULUAN

Frekuensi terjadinya bencana banjir terus mengalami peningkatan dengan debit puncak banjir yang semakin besar dan waktu yang makin pendek, hal tersebut mengakibatkan peningkatan jumlah limpasan sehingga risiko banjir menjadi semakin tinggi (Sukmajati et al., 2022).

Populasi yang meningkat, deforestasi, perluasan lahan pertanian, peningkatan urbanisasi, pembangunan jalan, reklamasi lahan basah, serta perubahan iklim, mengakibatkan berkurangnya kapasitas penyimpanan air yang tersedia di DAS (Fahmi et al., 2023). Akibat perubahan tata guna lahan dari ruang terbuka hijau menjadi ruang terbangun, maka degradasi lingkungan meningkat (Kodoatie & Sjarief, 2008).

Perubahan tata guna lahan di DAS Rea diperkirakan berpengaruh terhadap debit limpasan permukaan (Basthoni et al., 2023). Kota Taliwang berada di hilir pertemuan beberapa sungai, kondisi ini mengakibatkan kota tersebut sangat rentan terhadap bahaya genangan air akibat luapan air sungai maupun pasang air laut. (PT. Indra Karya, 2021).

Pengendalian banjir (struktural) saat ini lebih difokuskan pada pengendalian limpasan permukaan/kuantitas air hujan dengan cara memperbaiki dan memulihkan fungsi DAS melalui penampungan/penyimpanan air hujan di bagian hulu DAS (Martudianto & Kadri, 2013). Beberapa alternatif pendekatan struktur seperti waduk retensi/pengendali banjir, upaya ini dilakukan untuk mereduksi debit puncak banjir dengan memanfaatkan efek redam tampungan waduk (pada kondisi melimpah) dan pengaturan debit keluaran (pada kondisi tidak melimpah) (Pratiwi & Santosa, 2021). Pada Sistem DAS Rea telah dibangun 2 (dua) bendungan di hulu yaitu Bendungan Bintang Bano, Bendungan Tiu Suntuk, dan terdapat Danau Lebo Taliwang. Manfaat bangunan tersebut salah satunya berfungsi sebagai pengendali banjir.

Efektivitas pengendalian banjir melalui bendungan dan waduk perlu dievaluasi untuk memastikan bahwa kapasitas tampungan yang tersedia mampu mereduksi debit puncak secara optimal. Hasil penelitian (Nugroho et al., 2022) menunjukkan bahwa penelusuran banjir tampungan pada bendungan yang dirancang dengan baik dapat mengurangi risiko banjir hingga 40%, tergantung pada kapasitas tampungan dan pola pelepasan udara. Dalam konteks DAS Rea, analisis penelusuran banjir pada Bendungan Bintang Bano dan Bendungan Tiu Suntuk menjadi

aspek penting untuk memahami dampaknya terhadap perubahan debit banjir di hilir.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nugroho et al. (2022), pemetaan daerah genangan banjir melalui pemodelan mampu memberikan gambaran yang lebih akurat terhadap sebaran serta kedalaman genangan. Model ini mempertimbangkan berbagai faktor seperti elevasi dasar sungai, morfologi alur, dan parameter hidraulik lainnya.

Dalam konteks studi ini, optimasi pemodelan diperlukan untuk meningkatkan akurasi hubungan antara model hujan-limpasan (HEC-HMS) dan model hidraulika (HEC-RAS) dalam merepresentasikan kondisi genangan aktual di lapangan. Proses optimasi dilakukan agar hasil simulasi debit dari model HEC-HMS dapat memberikan kondisi batas yang lebih representatif bagi pemodelan genangan banjir, sehingga analisis dampak terhadap infrastruktur di wilayah DAS Rea dapat dilakukan dengan lebih andal. Dengan demikian, keterpaduan antara model hidrologi dan hidraulika menjadi dasar utama perlunya optimasi, sekaligus menegaskan relevansi pemodelan genangan banjir dalam mendukung tujuan utama penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan debit banjir DAS Rea dan memodelkan genangan banjir akibat pembangunan Bendungan Bintang Bano dan Bendungan Tiu Suntuk. Dalam proses pemetaan genangan banjir diperlukan analisis hidrologi dan hidraulika, dimana hasil analisis berupa penentuan elevasi dasar permukaan sungai, kedalaman genangan, lebar dataran banjir, debit air yang mengalir saat terjadi banjir dan hambatan yang terdapat pada aliran (Siregar, 2021).

Melalui pemodelan genangan banjir yang lebih akurat, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar perencanaan strategi mitigasi banjir yang lebih efektif dan berkelanjutan bagi Kota Taliwang. Temuan ini juga memberikan referensi penting bagi pengembangan pendekatan penelusuran banjir dan analisis reduksi genangan pada DAS perkotaan lainnya dengan karakteristik hidrologi serupa.

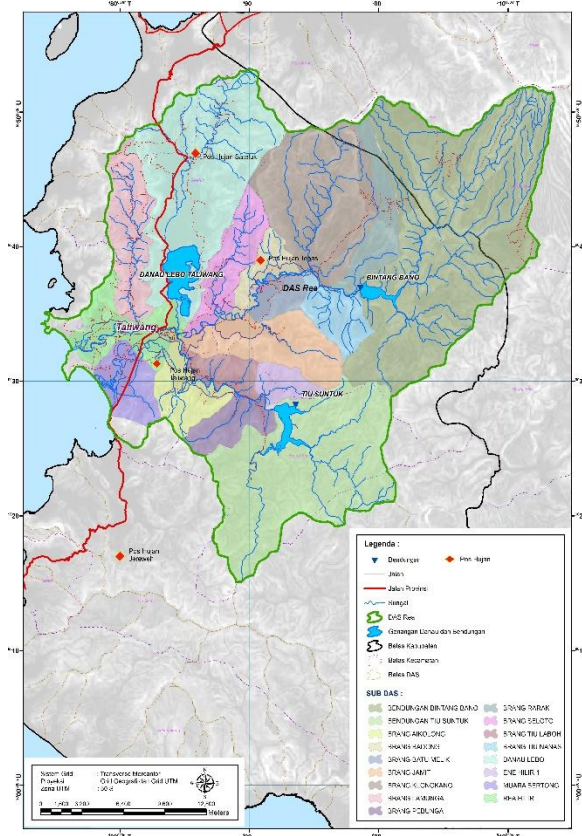
METODOLOGI

Lokasi Penelitian

DAS Rea seluas 820 km² dengan panjang Sungai Rea 65 km, berada di dalam Wilayah Sungai Sumbawa, secara administratif berada di Kabupaten Sumbawa Barat, sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Sumbawa. Sungai Rea mengalir ke barat serta bermuara di Selat Alas seperti yang ditampilkan pada **Gambar 1**.

Dalam penelitian ini DAS Rea dibagi menjadi 17 (tujuh belas) Sub DAS, garis batas Sub DAS

ditentukan berdasarkan perubahan kontur dari peta topografi menggunakan software ArcGIS. Garis batas terluar DAS Rea diperoleh dari peta DAS Rea dalam format shapefile (.shp) bersumber dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, yang kemudian diedit (delineasi). Pembagian Sub DAS Rea dan pos hujannya ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Peta Sub DAS Rea

Analisis Debit Banjir

Analisis debit banjir merupakan tahapan utama dalam kajian hidrologi yang bertujuan untuk menentukan besarnya aliran permukaan (*runoff discharge*) yang terjadi akibat hujan pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Proses ini berperan penting untuk memahami karakteristik limpasan dan menjadi dasar dalam pemodelan hidraulika untuk analisis genangan banjir.

Perhitungan debit banjir umumnya dilakukan melalui pembentukan hidrograf hujan-limpasan menggunakan metode empiris atau model hidrologi. HEC-HMS merupakan perangkat yang banyak digunakan karena mampu mensimulasikan proses hidrologi secara lengkap, mulai dari transformasi hujan menjadi limpasan hingga penelusuran aliran menuju outlet DAS. Menurut Darsono (2008), HEC-HMS memiliki antarmuka yang terintegrasi dengan lingkungan sehingga

memudahkan pengguna dalam menyiapkan data, menjalankan simulasi, serta menampilkan hasil dalam berbagai format, seperti grafik waktu, maupun hidrograf debit.

Lebih lanjut, Nusantara dan Dianeka (2023) menyebutkan bahwa penerapan HEC-HMS pada DAS dengan karakteristik kompleks dapat membantu mengidentifikasi potensi banjir dan mengevaluasi efektivitas strategi mitigasi yang diterapkan. Dengan demikian, hasil analisis debit banjir menggunakan HEC-HMS berfungsi sebagai masukan utama (*boundary condition*) bagi model hidraulika dalam simulasi genangan banjir.

Komponen utama dalam model HEC-HMS adalah sebagai berikut:

- 1) Basin model, yang mencakup elemen-elemen dalam suatu DAS seperti Sub DAS, titik kontrol DAS, ruas sungai, dan waduk. Model cekungan merepresentasikan struktur fisik DAS yang digunakan dalam simulasi hidrologi. Model ini mencakup delineasi sub-DAS, karakteristik aliran sungai, serta keberadaan infrastruktur pengendalian banjir seperti bendungan dan saluran drainase.
- 2) *Meteorologic* model, yang berisi data curah hujan dan penguapan. Model ini berfungsi untuk mendeteksi kondisi meteorologi yang berpengaruh terhadap respon hidrologi DAS. Data yang dimasukkan dapat berupa hujan historis atau skenario curah hujan tertentu untuk melihat dampaknya terhadap debit banjir.
- 3) *Control specifications*, yang berisi pengaturan periode simulasi, interval waktu, serta parameter yang diperlukan untuk menjalankan model.

Dalam penelitian ini, debit banjir kala ulang diasumsikan sesuai dengan kala ulang hujan yang menyebabkan debit tersebut terjadi. Untuk itu, input pada *meteorologic* model dalam HEC-HMS dimasukkan berdasarkan pengolahan data hujan sebagai berikut :

- 1) Pengumpulan data curah hujan historis berupa *point rainfall* hujan harian maksimum tahunan (HHMT) dari unit hidrologi BWS NT I pada 4 stasiun hujan, yaitu Tepas, Taliwang, Semongkat, dan Utan.
- 2) Analisis frekuensi pada setiap titik pengamatan untuk menghitung hujan rancangan dengan kala ulang tertentu pada masing-masing titik menggunakan *software* Hydrognomon.
- 3) Distribusi hujan diasumsikan dengan metode *Generalized Extreme Value* (GEV) karena sangat relevan untuk pemodelan hidrologi ekstrem.

- 4) Transformasi *point rainfall* menjadi *areal rainfall* menggunakan metode Poligon Thiessen.
- 5) Perhitungan intensitas hujan dengan metode rasional atau metode lain yang sesuai dengan karakteristik DAS Rea.
- 6) Analisis distribusi waktu hujan menggunakan metode *Huff* atau *Alternating Block Method* (ABM) untuk menentukan pola distribusi hujan selama kejadian.
- 7) Penentuan parameter hidrologi seperti kehilangan awal (*initial loss*) dan infiltrasi menggunakan metode yang tepat, misalnya metode *SCS Curve Number* (SCS-CN) atau *Green-Ampt* (GA).
- 8) Simulasi hujan menggunakan model HEC-HMS dengan input hujan hasil analisis yang telah disusun sebelumnya.
- 9) Kalibrasi kalibrasi model menggunakan data debit historis untuk menyesuaikan parameter model agar hasil simulasi mendekati kondisi aktual. Namun, mengingat keterbatasan ketersediaan dan kontinuitas data debit observasi, proses kalibrasi dilakukan secara terbatas dan analisis sensitivitas parameter tidak dapat dilaksanakan pada penelitian ini
- 10) Validasi model dengan data kejadian banjir tercatat untuk menilai performa model dalam merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.
- 11) Analisis hasil model untuk menilai dampak perubahan tata guna lahan dan kondisi hidrologi terhadap debit banjir di DAS Rea.

Kalibrasi Hidrograf Banjir

Kalibrasi hidrograf banjir merupakan proses penyesuaian parameter model agar hasil simulasi mendekati kondisi nyata yang teramati di lapangan. Tujuan utama kalibrasi adalah memastikan bahwa model hidrologi mampu merepresentasikan respon hidrologis suatu daerah aliran sungai (DAS) secara akurat terhadap kejadian hujan tertentu. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hidrograf hasil simulasi dengan hidrograf observasi yang mencakup karakteristik utama seperti debit puncak, waktu puncak, dan volume aliran.

Parameter yang dikalibrasi umumnya meliputi koefisien infiltrasi, parameter penyimpanan dalam model routing, serta faktor kontribusi aliran dasar (*baseflow*). Penyesuaian dilakukan secara iteratif hingga bentuk hidrograf simulasi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data pengamatan. Namun demikian, keberhasilan kalibrasi tidak hanya ditentukan oleh kecocokan statistik, tetapi

juga oleh kesesuaian nilai parameter terhadap kondisi fisik DAS, seperti tata guna lahan, jenis tanah, dan karakteristik morfologi aliran. Dengan demikian, hasil kalibrasi yang baik adalah hasil yang secara statistik sesuaikaligus secara fisik realistis.

Model hidrologi seperti HEC-HMS membagi proses simulasi menjadi beberapa komponen utama yang mewakili respon hidrologis DAS. Menurut Sujono dan Jayadi (2009), simulasi hujan menjadi aliran pada setiap Sub DAS terdiri dari: hujan sebagai input utama, *loss* model untuk menghitung volume hujan efektif (limpasan), *direct runoff* model untuk mentransformasikan hujan efektif menjadi aliran permukaan, dan *baseflow* model untuk mencerminkan besarnya aliran dasar yang berkontribusi terhadap total debit.

Keakuratan setiap komponen tersebut sangat bergantung pada parameter yang digunakan, sehingga tahap kalibrasi menjadi krusial untuk memperoleh keseimbangan yang tepat antarproses hidrologi di dalam model.

Keberhasilan kalibrasi dapat dievaluasi menggunakan indikator statistik seperti Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Root Mean Square Error (RMSE), dan koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan observasi (Indarto, 2012). Selain itu, Beven dan Freer (2001) menjelaskan bahwa proses kalibrasi dapat dilakukan secara manual berdasarkan interpretasi hidrologis atau secara otomatis menggunakan algoritma optimasi untuk mencari kombinasi parameter terbaik.

Dengan demikian, kalibrasi tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan nilai statistik performa model, tetapi juga untuk memastikan bahwa setiap parameter yang diperoleh secara fisik konsisten dengan kondisi DAS, sehingga model dapat digunakan secara andal untuk simulasi dan perencanaan hidrologi di masa mendatang.

Parameter-parameter tersebut diturunkan dari data spasial dan karakteristik fisik daerah aliran sungai (DAS), yang mencakup informasi topografi, penggunaan lahan, jenis tanah, serta hasil penginderaan jauh. Data ini menjadi dasar dalam menentukan nilai awal parameter model agar tetap merepresentasikan kondisi hidrologis aktual di lapangan. Beberapa parameter utama yang termasuk dalam kategori ini antara lain:

- 1) Parameter yang dapat diambil dari data yang tersedia antara lain;
 - *Basin area* atau luas DAS merupakan faktor utama dalam menentukan jumlah air yang dapat dikumpulkan dan dialirkan dalam sistem. Semakin besar DAS, semakin besar pula potensi aliran yang terjadi.

- *Land use and land cover* yaitu penggunaan lahan dan penutupan lahan berpengaruh terhadap laju infiltrasi dan aliran permukaan (*runoff*). misalnya, daerah dengan hutan lebat cenderung memiliki infiltrasi tinggi dan aliran permukaan rendah dibandingkan dengan daerah perkotaan yang memiliki banyak permukaan kedap air.
 - *Slope of the basin* yaitu kemiringan das mempengaruhi kecepatan aliran. das dengan kemiringan curam akan menghasilkan aliran permukaan yang lebih cepat dibandingkan dengan das yang lebih landai.
 - *Stream length* yaitu panjang sungai atau saluran utama dalam das digunakan dalam perhitungan waktu konsentrasi (*time of concentration, tc*) dan analisis routing aliran.
 - *Soil type* jenis tanah berpengaruh terhadap infiltrasi dan kapasitas retensi air. tanah berpasir memiliki infiltrasi tinggi, sedangkan tanah lempung cenderung kurang menyerap air, sehingga meningkatkan aliran permukaan.
- 2) Parameter yang memerlukan penyesuaian (*Trial and Error*) antara lain;
- *Initial abstraction (ia)* merupakan jumlah air hujan yang terserap atau tertahan di permukaan sebelum terjadi aliran permukaan, seperti intersepsi oleh vegetasi dan depresi kecil di permukaan tanah. nilai ini bervariasi tergantung pada kondisi lahan dan curah hujan awal.
 - *Lag time* yaitu waktu yang dibutuhkan dari puncak hujan efektif hingga mencapai puncak aliran. nilai ini sangat bergantung pada bentuk das, kemiringan, dan karakteristik hidraulik saluran.
 - *Time of concentration (tc)* yaitu waktu yang dibutuhkan bagi air hujan dari titik terjauh di das untuk mencapai outlet. tc dipengaruhi oleh panjang saluran, kemiringan, dan kondisi permukaan. dalam kalibrasi, nilai tc dapat disesuaikan untuk mencocokkan waktu kedatangan puncak aliran dengan data observasi.
 - *Infiltration parameters* seperti metode *scs curve number (CN)* atau *Green-ampt* menentukan jumlah air hujan yang masuk ke dalam tanah dibandingkan yang menjadi aliran permukaan. parameter ini dikalibrasi berdasarkan jenis tanah dan tutupan lahan
 - *Storage coefficients*, yaitu parameter yang digunakan dalam metode routing hidrograf untuk memperhitungkan penyimpanan air di sepanjang saluran atau waduk. nilainya dapat disesuaikan berdasarkan karakteristik hidraulik sungai dan keberadaan infrastruktur seperti bendungan atau kolam retensi.
- Berdasarkan SNI 2415:2016, kalibrasi parameter dilakukan dengan menyesuaikan nilai parameter model melalui metode *trial and error* atau menggunakan teknik kalibrasi otomatis hingga diperoleh tingkat kesesuaian yang baik (*goodness of fit*) antara hidrograf hasil simulasi dan hidrograf hasil pengamatan. Tujuan utama dari proses ini adalah memastikan bahwa model dapat merepresentasikan respon hidrologis DAS terhadap kejadian hujan secara akurat. Karena pada DAS Rea tidak tersedia data pencatatan debit dengan resolusi jam-jaman, proses kalibrasi dilakukan dengan penyesuaian parameter model debit banjir menggunakan beberapa metode perhitungan, hingga diperoleh kemiripan bentuk hidrograf antara hasil simulasi dan observasi lapangan. Dalam penelitian ini, digunakan dua metode utama, yaitu SCS (*Soil Conservation Service*) dan *Green-Ampt*.
- Metode SCS didasarkan pada konsep *curve number (CN)* yang menggambarkan kapasitas infiltrasi dan karakteristik penutup lahan untuk menghitung hujan efektif secara empiris, sedangkan *Green-Ampt* menggunakan pendekatan fisik dengan mempertimbangkan konduktivitas hidrolis tanah, kadar air awal, dan tekanan kapiler untuk menghitung proses infiltrasi secara lebih dinamis. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan evaluasi yang lebih komprehensif terhadap respons hidrologi DAS dengan menyesuaikan parameter seperti *Initial Abstraction (ia)*, *Lag Time*, *Infiltration Parameters*, dan *Storage Coefficients*.
- Setelah proses kalibrasi selesai, langkah berikutnya adalah validasi model menggunakan data hidrograf dari kejadian banjir yang berbeda untuk memastikan bahwa parameter yang telah disesuaikan mampu memberikan hasil simulasi yang konsisten dan akurat. Jika ditemukan perbedaan signifikan antara hasil simulasi dan data observasi, parameter perlu disesuaikan kembali hingga model dapat merepresentasikan dinamika hidrologi DAS secara andal.
- Dengan demikian, kalibrasi dan validasi merupakan tahapan krusial sebelum model digunakan untuk simulasi skenario, karena keduanya menentukan tingkat kepercayaan dan reliabilitas model dalam menganalisis respon hidrologi dan potensi banjir di wilayah studi.

Pemodelan Genangan Banjir

Hasil analisis debit banjir selanjutnya digunakan dalam analisis hidraulika untuk mensimulasikan distribusi genangan banjir di wilayah studi. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.3.1 (2D) yang dirancang untuk menganalisis pergerakan aliran permukaan dan menghitung elevasi muka air secara spasial pada sistem sungai maupun saluran buatan.

Model dua dimensi ini memungkinkan representasi yang lebih realistis terhadap pola penyebaran dan kedalaman genangan di sekitar alur sungai berdasarkan debit hasil simulasi hidrologi. Dengan memanfaatkan kondisi batas dan topografi yang tersedia, hasil simulasi kemudian digunakan untuk menghasilkan peta sebaran genangan dan evaluasi area terdampak banjir di sepanjang DAS Rea.

Pemodelan genangan banjir pada penelitian ini dilakukan untuk dua skenario, yakni kondisi eksisting sebelum pembangunan bendungan dan kondisi setelah beroperasinya Bendungan Bintang Bano, Bendungan Tiu Suntuk, serta retensi Danau Lebo Taliwang. Data input meliputi DEM DAS Rea, data detail bendungan, pengukuran situasi sungai dari hilir bendungan hingga muara Sungai Rea, serta data pasang surut. Seluruh data diperoleh dari kompilasi beberapa studi terdahulu, termasuk Sertifikasi Desain Bendungan Tiu Suntuk (2019), Supervisi Pembangunan Bendungan Bintang Bano (2021), Review Penataan Danau Lebo Taliwang (2022), serta data pasang surut dari BIG..

Proses Kalibrasi Model

Proses kalibrasi model merupakan langkah krusial dalam pengembangan dan penerapan model ilmiah, dengan tujuan memastikan bahwa keluaran model sesuai dengan data empiris yang diamati. Kalibrasi yang dilakukan secara tepat dapat meningkatkan akurasi dan reliabilitas model, sehingga hasil prediksi atau simulasi yang dihasilkan dapat dipercaya dan dijadikan dasar dalam proses pengambilan keputusan.

Dalam konteks pengukuran dan instrumentasi, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat atau sensor terhadap standar acuan yang telah ditetapkan. Menurut Sulaeman dan Kusnadi (2010), kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan alat ukur dan bahan ukur yang akan dikalibrasi terhadap standar ukurnya yang dapat ditelusuri (*traceable*) ke standar nasional atau internasional. Proses ini memastikan bahwa alat ukur menghasilkan data yang akurat dan konsisten sesuai dengan standar yang berlaku.

Prinsip yang sama diterapkan pada kalibrasi model ilmiah, di mana proses penyesuaian

dilakukan bukan terhadap alat fisik, melainkan terhadap parameter internal model agar output yang dihasilkan mendekati data observasi. Dengan demikian, kalibrasi model pada dasarnya merupakan upaya untuk “menyetarakan” perilaku model dengan sistem nyata, sebagaimana kalibrasi instrumen memastikan ketelitian alat terhadap standar pengukuran.

Tohme et al. (2019) mengembangkan pendekatan Bayesian untuk kalibrasi model yang memungkinkan integrasi antara proses kalibrasi dan metrik validasi. Mereka menjelaskan bahwa dengan mengkalibrasi model berdasarkan metrik validasi yang diinginkan, metrik reliabilitas dan keselamatan dapat diintegrasikan secara otomatis ke dalam fase kalibrasi. Pendekatan ini menjadikan proses kalibrasi tidak hanya sekadar penyetelan parameter, tetapi juga mekanisme untuk memperkuat reliabilitas model secara keseluruhan.

Pentingnya kalibrasi model juga ditegaskan oleh Ting et al. (2023), yang menyatakan bahwa proses kalibrasi dan validasi model diperlukan untuk meningkatkan kinerja model prediktif. Mereka menekankan perlunya definisi yang konsisten dan kerangka kerja yang terstandarisasi dalam proses kalibrasi dan validasi untuk memastikan validitas dan penerimaan model yang dikembangkan dalam konteks ilmiah maupun praktis.

Selain itu, Kartika dan Alfiyati (2017) juga menekankan bahwa keberhasilan kalibrasi skala garis pada RCM LIPI sangat bergantung pada ketepatan penempatan titik tumpu. Mereka menunjukkan bahwa posisi titik tumpu yang benar mampu mengurangi potensi kesalahan pengukuran dan meningkatkan akurasi hasil kalibrasi.

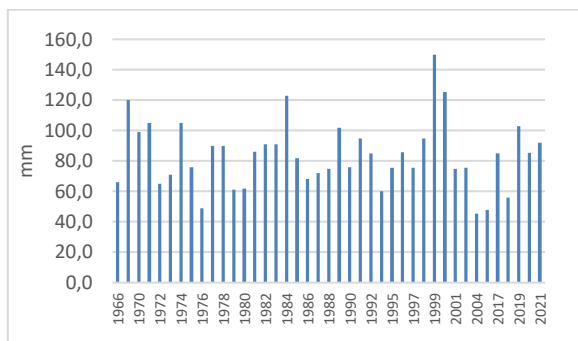
Secara keseluruhan, proses kalibrasi baik pada instrumen maupun model ilmiah memiliki peran yang sama pentingnya, yaitu memastikan kesesuaian antara sistem pengukuran atau model dengan kenyataan fisik yang diwakilinya. Dengan kalibrasi yang dilakukan secara benar, model tidak hanya menghasilkan kesesuaian statistik yang baik tetapi juga merepresentasikan fenomena nyata secara lebih andal, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat, transparan, dan berbasis bukti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hujan Rancangan

Analisis hujan rancangan dilakukan pada setiap pos hujan menggunakan data Hujan Harian Maksimum Tahunan (HHMT), sebagaimana ditunjukkan pada Pos Taliwang (**Gambar 2**). Data HHMT memperlihatkan variabilitas antar-tahun

yang fluktuatif tanpa kecenderungan tren tertentu, dengan nilai dominan berada pada kisaran 60–100 mm dan anomali ekstrem, seperti tahun 1997 yang mencapai lebih dari 140 mm.



Gambar 2 Trend HHMT pos hujan Taliwang

Berdasarkan deret HHMT tersebut dilakukan analisis frekuensi menggunakan distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) melalui perangkat lunak Hydrognomon untuk memperoleh hujan rancangan pada berbagai kala ulang. Hasil pengolahan menghasilkan fungsi kepekatn probabilitas (PDF) (**Gambar 3**) dan estimasi hujan rancangan untuk setiap periode ulang (**Tabel 1**). **Gambar 3** memperlihatkan Puncak kurva berada pada kisaran 70–100 mm, selaras dengan frekuensi kelas tertinggi pada data empiris. Ekor kanan yang memanjang menunjukkan keberadaan kejadian hujan ekstrem dengan probabilitas rendah. Kesesuaian bentuk histogram dan kurva PDF tersebut menegaskan bahwa distribusi yang digunakan mampu menggambarkan karakteristik statistik data dan dapat diterapkan sebagai dasar penentuan hujan rancangan.

Tabel 1 Hujan rancangan pada pos hujan

No	Kala Ulang	Hujan (mm)	
		Taliwang	Tepas
1	1.01	43.5	22.5
2	2	81.2	92.3
3	5	101.0	135.4
4	10	113.1	164.5
5	25	127.3	201.9
6	50	137.2	230.1
7	100	146.3	258.6
8	200	155.0	287.3
9	1000	173.0	355.5
10	PMP	488.5	716.1

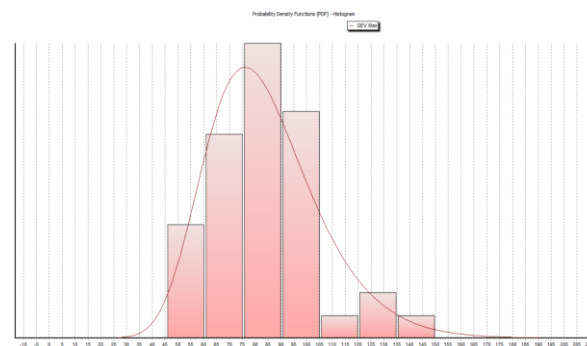
Analisis Debit Banjir

Karena tidak tersedia data observasi debit banjir dengan resolusi jam-jaman pada DAS Rea, proses kalibrasi tidak dapat dilakukan secara langsung terhadap data pengukuran lapangan. Oleh karena itu, evaluasi dilakukan dengan

membandingkan hasil simulasi antar-metode model, yaitu antara metode SCS dan *Green-ampt* (GA), untuk menilai kesesuaian bentuk dan puncak hidrograf yang dihasilkan.

Hasil perbandingan hidrograf untuk skenario Q1000 dan PMF yang ditampilkan dalam **Gambar 4** menunjukkan bahwa metode SCS dan GA menghasilkan pola aliran yang secara umum serupa, namun terdapat perbedaan pada tinggi debit puncak, waktu menuju puncak, serta karakteristik resesinya. Pada kedua skenario, metode SCS cenderung menghasilkan debit puncak yang lebih besar dan terjadi sedikit lebih cepat dibandingkan GA, yang menunjukkan respon limpasan permukaan yang lebih cepat dan konservatif. Sementara itu, metode GA menampilkan debit puncak yang sedikit lebih rendah dengan fase resesi lebih landai, merefleksikan pengaruh infiltrasi yang lebih kuat pada awal kejadian hujan. Konsistensi pola hidrograf antara kedua metode, terutama setelah melewati puncak banjir, serta nilai korelasi dan RMSE yang lebih baik pada metode SCS, menguatkan pemilihannya sebagai metode utama dalam proses kalibrasi, validasi, dan simulasi hidrograf ekstrem.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa metode *SCS Curve Number* memberikan tingkat kesesuaian yang lebih baik dibandingkan metode *Green-Ampt*, dengan nilai koefisien korelasi (R) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) masing-masing sebesar 0,98 dan 34,71 m³/s untuk kala ulang Q₁₀₀₀, serta 0,97 dan 65,64 m³/s untuk Q_{PMF}. Konsistensi pola hidrograf antara kedua metode, terutama setelah melewati puncak banjir, serta nilai korelasi dan RMSE yang lebih baik pada metode SCS, menguatkan pemilihannya sebagai metode utama dalam proses kalibrasi, validasi, dan simulasi hidrograf ekstrem.



Gambar 3 Probability Density Function (PDF)

Kalibrasi dilakukan pada metode SCS dan GA dengan menyesuaikan parameter *Initial Abstraction*, *Lag Time*, *Baseflow*, dan *Ratio to Peak*. Meskipun parameter yang disesuaikan serupa, fokus kalibrasi berbeda: pada SCS penyesuaian diarahkan untuk mengatur besarnya limpasan empiris, sedangkan pada GA penyesuaian dilakukan untuk mengontrol

infiltrasi dan sifat hidraulik tanah. Ketiga parameter lainnya—*Lag Time*, *Baseflow*, dan *Ratio to Peak*—dikoreksi pada kedua metode untuk mendapatkan bentuk hidrograf yang konsisten dengan kondisi acuan. Penyesuaian parameter model dilakukan melalui proses *trial-and-error* dan parameter terbaik hasil kalibrasi disajikan pada **Tabel 2** berikut.

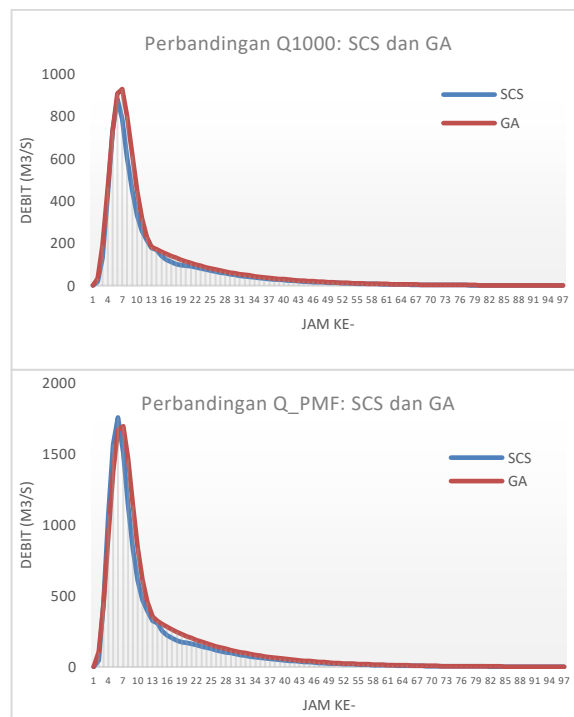
Tabel 2 Hasil Kalibrasi Debit Banjir

No	Metode	Parameter	Satuan	Nilai
1	Loss	Initial Abstraction	mm	10,01
2	Transform	Lag Time	Jam	105,05
3	Baseflow	Initial Discharge per Area	m ³ /s/km ²	0,0015
4	Transform	Ratio to Peak	-	0,10

Adapun hasil perhitungan Debit banjir pada DAS Rea berbagai kala ulang diperoleh dari metode SCS pada model HEC-HMS terkalibrasi, ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Debit Banjir (Kondisi Sebelum Ada Bangunan)

No	Sub DAS	Debit Kala Ulang (m ³ /s)				
		Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q _{PMF}
1	Danau Lebo	266,78	304,07	332,94	361,39	896,70
2	Brang Klongkang	210,30	241,13	264,86	287,12	712,08
3	Brang Rarak	62,14	71,25	78,26	84,84	210,41
4	Brang Seloto	66,97	76,79	84,35	91,44	226,78
5	Brang Badong	38,98	44,70	49,10	53,23	132,00
6	Brang Tiu Nanas	48,01	55,05	60,47	65,55	162,57
7	Brang Batu Melik	30,23	34,66	38,07	41,27	102,35
8	Brang Jamit	100,08	114,76	126,05	136,65	338,89
9	Ene Hilir 1	38,54	43,85	47,71	51,53	129,68
10	Brang Pebunga	55,05	62,62	68,14	73,59	185,20
11	Brang Ai Kolong	60,89	69,27	75,37	81,40	204,86
12	Brang Tiu Laboh	72,67	82,67	89,95	97,15	244,48
13	Muara Bertong	150,55	171,80	187,45	202,89	375,78
14	Bend. Tiu Suntutuk	497,17	590,66	659,23	727,66	1874,00
15	Brang Lamunga	142,80	162,00	175,69	377,74	403,00
16	Bend. Bintang Bano	484,20	622,91	693,38	799,76	2737,37
17	Rea hilir	136,44	154,29	167,40	179,62	358,80
Jumlah		2461,80	2902,48	3198,42	3712,83	9294,97



Gambar 4 Komparasi Hidrograf SCS dan *Green-Ampt* (GA)

Pada kondisi muka air waduk dipertahankan pada elevasi dasar pintu +106, jika terjadi banjir maka tampungan waduk dapat menampung volume banjir sebesar 21,13 juta m³ hingga elevasi pelimpah samping +115.5. Hasil penelusuran banjir bendungan Bintang Bano ditampilkan pada **Tabel 4**

Tabel 4 Hasil Penelusuran Banjir Bendungan Bintang Bano

Banjir Kala Ulang (Q)	Inflow Q _{max} (m ³ /s)	Outflow					Persentase Reduksi Puncak (%)
		Pintu Tertutup Elv. MAW + 106,00					
		Q (m ³ /s)	Selisih Puncak (m ³ /s)	Tinggi Air (m)	Elv. MAW (m)	Jagaan (m)	
Q ₁₀	484,20	0,00	484,20	6,43	112,43	7,57	100,00
Q ₂₅	622,91	0,00	622,91	7,97	113,97	6,03	100,00
Q ₅₀	693,38	0,00	693,38	8,75	114,75	5,25	100,00
Q ₁₀₀	799,76	19,78	779,98	9,81	115,81	4,19	97,53
Q _{PMF}	2737,37	1784,35	953,02	12,25	118,25	1,75	34,82

Tabel 5 Hasil Penelusuran Banjir Bendungan Tiu Suntuik

Banjir Kala Ulang (Q)	Inflow Q _{max} (m ³ /s)	Outflow					Persentase Reduksi Puncak (%)
		Pintu Tertutup Elv. MAW + 88,00					
		Q (m ³ /s)	Selisih Puncak (m ³ /s)	Tinggi Air (m)	Elv. MAW (m)	Jagaan (m)	
Q ₁₀	497,17	0,00	497,17	3,07	91,07	5,93	100,00
Q ₂₅	590,66	2,46	588,20	4,58	92,58	4,42	99,58
Q ₅₀	659,23	28,24	630,99	4,91	92,91	4,09	95,72
Q ₁₀₀	727,66	65,29	662,37	5,19	93,19	3,81	91,03
Q _{PMF}	1874,00	1016,21	857,79	8,10	96,10	0,90	45,77

Tabel 6 Hasil Penelusuran Banjir DTA Danau Lebo Taliwang

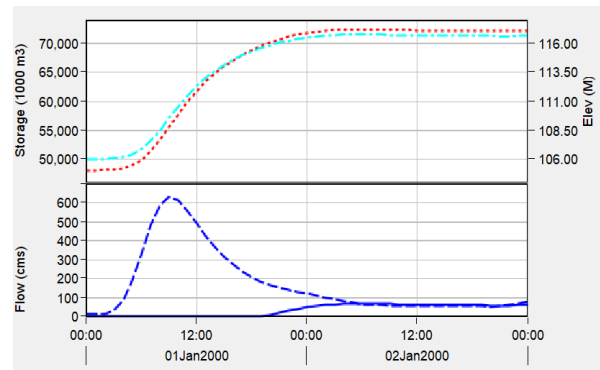
Banjir Kala Ulang (Q)	Inflow Q _{max} (m ³ /s)	Outflow					Persentase Reduksi Puncak (%)
		Pintu Tertutup Elv. MAW + 6,00					
		Q (m ³ /s)	Selisih Puncak (m ³ /s)	Tinggi Air (m)	Elv. MAW (m)	Jagaan (m)	
Q ₁₀	266,78	25,00	241,77	1,15	7,15	0,65	90,67
Q ₂₅	304,07	30,29	273,78	1,30	7,30	0,50	90,07
Q ₅₀	332,94	34,61	298,33	1,41	7,41	0,39	89,60
Q ₁₀₀	361,39	39,09	322,30	1,52	7,52	0,28	89,19
Q _{PMF}	896,70	197,58	699,12	2,29	8,29	-0,49	85,31

Pola operasi pengendalian banjir Bendungan Tiu Suntuk dilaksanakan dengan menjaga pintu pelimpah tetap tertutup serta mempertahankan elevasi muka air waduk pada kisaran elevasi dasar pintu +88,00 hingga elevasi mercu pelimpah samping +92,50. Pada kondisi ini, waduk memiliki kapasitas tampungan banjir sebesar 13,10 juta m³.

Hasil penelusuran banjir (flood routing) Bendungan Tiu Suntuk disajikan pada **Tabel 5**. Sementara itu, pengaruh retensi Danau Lebo Taliwang yang berada pada Sub DAS Rea bagian hilir—yang turut mereduksi limpasan dari daerah tangkapan air—ditampilkan pada **Tabel 6**.

Hasil tampilan model hidrograf bintang bano yang efektif mereduksi banjir di DAS rea ditunjukkan oleh Grafik Hidrograf Banjir pada **Gambar 5**. Berdasarkan hasil routing gabungan dari Bendungan Bintang Bano, Bendungan Tiu Suntuk, Danau Lebo Taliwang, serta kontribusi sub-DAS di wilayah hilir, diperoleh debit banjir outflow setelah adanya bangunan sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 7**. Hasil penelusuran banjir pada Bendungan Bintang Bano, Bendungan Tiu Suntuk, dan retensi Danau Lebo Taliwang menunjukkan bahwa ketiganya mampu mereduksi debit puncak secara signifikan pada seluruh kala ulang, dengan efektivitas tertinggi terjadi pada kejadian banjir kecil hingga menengah (Q10–Q50) yang mencapai

≈90–100%. Pada kedua bendungan besar, puncak inflow hingga kisaran 700 m³/s masih dapat direduksi sepenuhnya tanpa limpasan melalui spillway, dengan elevasi muka air tetap berada di atas batas aman jagaan. Efektivitas reduksi menurun pada skenario ekstrem PMF, di mana Bintang Bano hanya mampu mereduksi puncak sebesar 34,82%, Tiu Suntuk sebesar 45,77%, dan Danau Lebo sebesar 85,31%, seiring meningkatnya tinggi muka air menuju elevasi maksimum tampungan. Secara keseluruhan, ketiga sistem retensi bekerja efektif mengendalikan banjir rutin dan menurunkan tekanan hidrologis di hilir, meskipun kapasitas reduksi berkurang pada kejadian ekstrem akibat keterbatasan volume tampungan.



Gambar 5 Grafik Hidrograf Banjir retensi banjir Bendungan Bintang bano

Tabel 7 Debit Banjir (Kondisi Sesudah Ada Bangunan)

No	Sub DAS	Debit Kala Ulang (m ³ /s)				
		Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q _{PMF}
1	Danau Lebo	28,94	287,12	34,61	39,09	197,58
2	Brang Klongkang	210,30	84,84	264,86	287,12	712,08
3	Brang Rarak	62,14	91,44	78,26	84,84	210,41
4	Brang Seloto	66,97	53,23	84,35	91,44	226,78
5	Brang Badong	38,98	65,55	49,10	53,23	132,00
6	Brang Tiu Nanas	48,01	41,27	60,47	65,55	162,57
7	Brang Batu Melik	30,23	136,65	38,07	41,27	102,35
8	Brang Jamit	100,08	51,53	126,05	136,65	338,89
9	Ene Hilir 1	38,54	73,59	47,71	51,53	129,68
10	Brang Pebunga	55,05	81,40	68,14	73,59	185,20
11	Brang Ai Kolong	60,89	97,15	75,37	81,40	204,86
12	Brang Tiu Laboh	72,67	202,89	89,95	97,15	244,48
13	Muara Bertong	150,55	65,29	187,45	202,89	375,78
14	Bend, Tiu Suntuk	0,00	2,46	28,24	65,29	1016,21
15	Brang Lamunga	142,80	19,78	175,69	377,74	403,00
16	Bend, Bintang Bano	0,00	00,00	0,00	19,78	1784,35
17	Rea Hilir	136,44	154,29	167,40	179,62	358,80
Jumlah		1242,59	1417,59	1575,72	1948,18	6785,04

Sumber: Hasil Analisis

Pemodelan Genangan Banjir

Dalam model HEC-RAS diperlukan input Geometri berupa data geometri sungai dan bangunan sungai, input kondisi batas berupa kondisi batas hulu (debit air) dan hilir (perhitungan pasang surut pada muara DAS Rea) serta pendefinisian keadaan hidraulik yang dalam penelitian ini menggunakan *unsteady flow*.

Mengingat di lapangan tidak ada pencatatan otomatis muka air di sungai, maka kalibrasi dilakukan berdasarkan informasi kejadian banjir. Adapun kondisi tinjauan untuk kalibrasi yaitu informasi ketinggian rata-rata muka air di sungai saat banjir pada segmen sungai jembatan hilir Brang Rea setinggi 6.3 m dari dasar sungai. Debit kala ulang banjir tahunan berdasarkan model HEC-HMS sebesar 231 m³/s pada segmen sungai tersebut. Proses kalibrasi parameter dilakukan berupa penyesuaian koefisien kekasaran Manning (*n*) setiap segmen sungai. Sementara itu, parameter lainnya berupa koefisien kontraksi/ekspansi dan parameter hidrolika lainnya dipertahankan sesuai nilai default dari program.

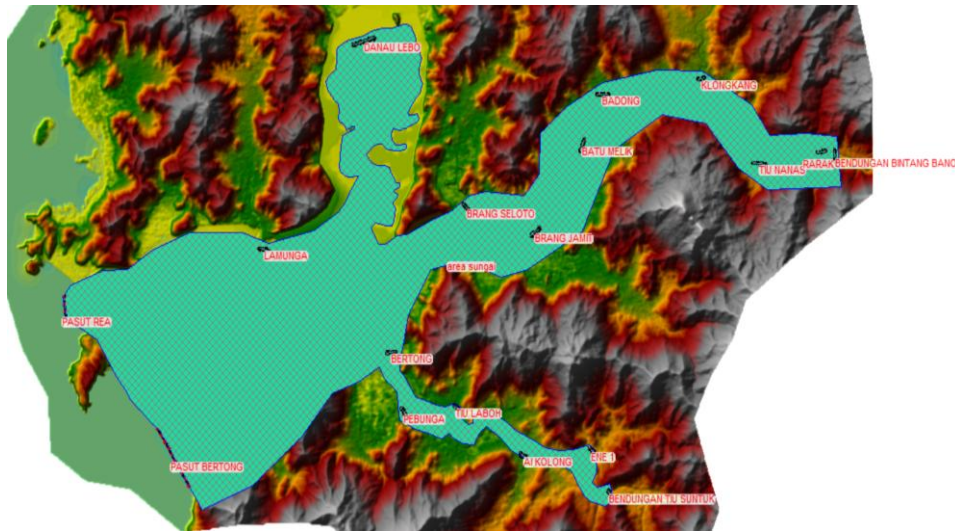
Kondisi batas model secara skematis ditampilkan pada **Gambar 6**, memberikan ilustrasi menyeluruh mengenai kondisi geometri sungai, waduk, serta batas hulu dan hilir dalam pemodelan HEC-RAS. Wilayah yang tergenang ditampilkan dalam warna hijau muda dengan pola titik-titik, yang menandakan area waduk yang berfungsi sebagai penyimpanan air sebelum dialirkan ke sungai utama. Topografi sekitar sungai juga ditampilkan dengan perbedaan warna, di mana area berwarna merah dan kuning menunjukkan daerah perbukitan atau pegunungan, sedangkan hijau tua menunjukkan dataran rendah atau vegetasi di sekitar DAS. Model ini menggunakan pendekatan *unsteady flow*, yang memungkinkan analisis perubahan debit dan ketinggian muka air dinamis dalam suatu periode waktu tertentu pemodelan HEC-RAS. Pada model ini, kondisi batas hulu ditentukan berdasarkan debit banjir tahunan, sementara kondisi batas hilir mempertimbangkan pengaruh pasang surut di muara DAS Rea yang mempengaruhi aliran air keluar dari sistem sungai. Beberapa titik di sepanjang sungai diberi label untuk menandai lokasi strategis seperti titik pemantauan atau jembatan. Salah satu titik utama dalam proses kalibrasi adalah Jembatan Hilir Brang Rea, di mana tinggi muka air saat banjir tercatat mencapai 6.3 meter dari dasar sungai. Proses kalibrasi model hidraulika dilakukan dengan

menyesuaikan koefisien kekasaran Manning (*n*) pada setiap segmen sungai dan area genangan hingga hasil simulasi elevasi muka air mendekati kondisi aktual di lapangan. Penyesuaian ini bertujuan untuk memperoleh distribusi aliran dan kedalaman genangan yang representatif terhadap kondisi fisik saluran dan morfologi lahan.

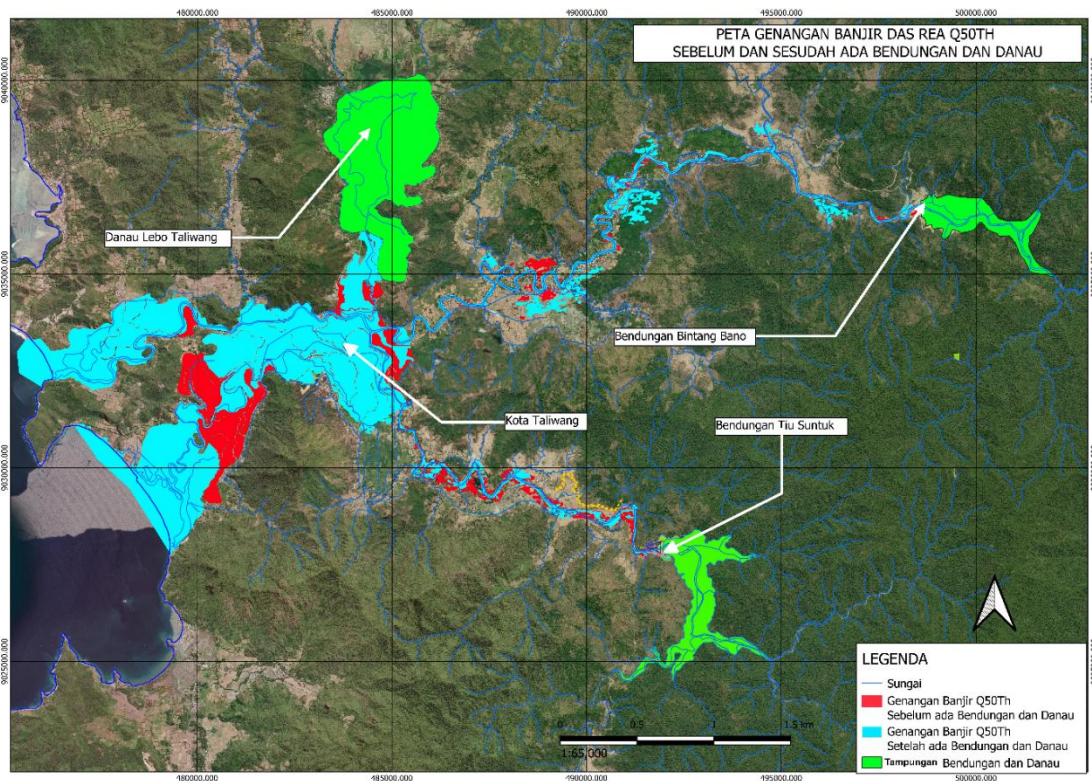
Dalam pemodelan dua dimensi (2D), koefisien kekasaran Manning tidak hanya diterapkan pada alur utama sungai, tetapi juga pada permukaan lahan dan bantaran sekitarnya, karena variasi karakteristik tutupan lahan berpengaruh terhadap kecepatan dan arah aliran. Berdasarkan hasil kalibrasi, nilai koefisien Manning yang digunakan berada pada rentang 0,025–0,035 untuk alur sungai utama (dasar saluran dengan kondisi relatif bersih), sedangkan pada area bantaran dan permukiman berkisar antara 0,045–0,060, dan meningkat hingga 0,070–0,080 pada lahan vegetatif padat atau area sawah. Parameter hidrolika lainnya seperti koefisien kontraksi dan ekspansi dipertahankan pada nilai default program (0,1 dan 0,3) sesuai rekomendasi HEC-RAS, karena pengaruhnya relatif kecil terhadap hasil simulasi dibandingkan dengan variasi kekasaran permukaan.

Tabel 8 Hasil Pemodelan Genangan Banjir DAS Rea

Kala ulang Q ₅₀				
No	Uraian	Tinggi Genangan (m) Bantaran Sungai	Kota Taliwang	Luas Genangan (ha)
1	Sebelum ada bangunan	1,14	0,42	4.016
2	Sesudah ada bangunan	0,63	0,08	2.652
(%)				33,96
Kala ulang Q ₁₀₀				
1	Sebelum ada bangunan	1,22	0,45	4.065
2	Sesudah ada bangunan	0,70	0,10	2.780
(%)				31,61
Kala ulang Q ₁₀				
1	Sebelum ada bangunan	0,92	0,34	3.804
2	Sesudah ada bangunan	0,31	0,07	2.347
(%)				38,30
Kala ulang Q ₂₅				
1	Sebelum ada bangunan	1,06	0,40	3.939
2	Sesudah ada bangunan	0,52	0,08	2.539
(%)				35,54



Gambar 6 Skema Boundary Condition Analysis Banjir DAS Rea



Gambar 7 Peta Genangan Banjir Q₅₀ DAS Rea

Berdasarkan Gambar 7 dan Tabel 8 diperoleh hasil model genangan banjir DAS Rea pada kala ulang Q₅₀ terjadi penurunan luas genangan banjir sebesar 33,96 %, sebelum adanya bangunan luas genangan banjir sebesar 4.016 ha, tinggi genangan pada bantaran sungai 1,14 m, dan tinggi genangan di Kota Taliwang 0,42 m. Sesudah adanya bangunan luas genangan banjir 2.652 ha, tinggi genangan pada bantaran sungai 0,63 m, dan tinggi genangan di kota 0.08 m.

KESIMPULAN

Untuk mengetahui pengaruh penelusuran banjir tumpangan terhadap debit inflow bendungan dan Danau Lebo Taliwang serta dampaknya terhadap kondisi genangan banjir di DAS Rea, dilakukan analisis hidrologi dan hidraulika terpadu. Analisis debit banjir dilakukan dengan mentransformasi curah hujan menjadi hidrograf aliran menggunakan perangkat lunak HEC-HMS, yang kemudian

dilanjutkan dengan pemodelan genangan banjir dua dimensi (2D) menggunakan HEC-RAS.

Pemodelan hidrologi HEC-HMS dikalibrasi berdasarkan kesesuaian bentuk dan puncak hidrograf antara metode SCS dan metode Green-Ampt. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,98 dengan RMSE 34,71 m³/s untuk kala ulang Q₁₀₀₀, serta R = 0,97 dengan RMSE 65,64 m³/s untuk QPMF. Nilai korelasi yang tinggi tersebut mengindikasikan tingkat kecocokan yang sangat baik antara hasil simulasi dan bentuk hidrograf yang diharapkan, meskipun nilai RMSE pada QPMF masih menunjukkan adanya deviasi akibat ketidakpastian ekstrem pada debit puncak.

Pemodelan hidraulika HEC-RAS dikalibrasi berdasarkan ketinggian muka air sungai rata-rata tahunan sebesar 6,3 m pada segmen sungai di lokasi Jembatan Brang, dengan debit inflow Q₁ = 231 m³/s. Hasil kalibrasi menunjukkan kesesuaian antara elevasi muka air hasil simulasi dengan kondisi pengamatan, sehingga model dinilai representatif untuk digunakan dalam simulasi skenario penelusuran banjir.

Berdasarkan simulasi terhadap kedua model yang telah terkalibrasi, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Reduksi debit puncak banjir.

Hasil penelusuran banjir menunjukkan penurunan debit puncak sebesar 50,73% pada kondisi kala ulang Q₅₀, dari 3.198,42 m³/s (sebelum ada bendungan) menjadi 1.575,72 m³/s (setelah ada bendungan). Pengurangan ini menunjukkan bahwa keberadaan dua bendungan utama (Bintang Bano dan Tiu Suntutuk) serta Danau Lebo Taliwang berperan signifikan dalam mereduksi dan mengatur aliran puncak banjir yang menuju ke hilir DAS Rea.

2. Reduksi luas dan tinggi genangan.

Simulasi genangan banjir memperlihatkan penurunan luas genangan sebesar 33,96% pada kondisi kala ulang yang sama. Sebelum pembangunan bendungan, luas genangan mencapai 4.016 ha dengan tinggi genangan 1,14 m di bantaran sungai dan 0,42 m di kawasan perkotaan Taliwang. Setelah adanya bendungan, luas genangan berkurang menjadi 2.652 ha, dengan tinggi genangan 0,63 m di bantaran sungai dan 0,08 m di kawasan perkotaan.

Artinya, keberadaan sistem tampungan bendungan secara nyata berperan dalam menurunkan risiko banjir di wilayah hilir, khususnya di kawasan perkotaan Taliwang, baik melalui reduksi debit

puncak maupun pengurangan luas dan kedalaman genangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian ini berlangsung. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada karyawan dan karyawan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I atas bantuan, data, serta informasi yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan menjadi kontribusi nyata dalam pengelolaan sumber daya air di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2016). SNI 2415-2016: Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Basthoni, M. K. R., Maulana, M. A., Damarnegara, A. N. S. (2023). Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Hidrograf Aliran Di Sub-Sub DAS Keyang-Slahung-Tempuran Menggunakan Model SWAT. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(1), 13-22.
- Beven, K. J., & Freer, J. (2001). Equifinality, Data Assimilation, and Uncertainty Estimation in Mechanistic Modelling of Complex Environmental Systems. *Journal of Hydrology*, 249(1-4), 11-29. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00421-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00421-8)
- Darsono, S. (2008). Model Hidrologi-2 (HEC-HMS), Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- Fahmi, N., Tjahjono, B., & Rusdiana, O. (2023). Dampak Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Daya Dukung Air Studi Kasus di Kota Bogor dan Kabupaten Bogor (The Impact of Land Cover Change on Water Carrying Capacity Case Study in Bogor City & Bogor Regency). *Globè*, 25(2), 121-130.
- Indarto, I. (2012). Prosedur Kalibrasi dan Validasi Model SMAR untuk Mendeskripsikan Proses Hujan Aliran di Sub-DAS Rawatamtu. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(3), 265. <https://doi.org/10.5614/jts.2012.19.3.7>

- Kartika, N. L., & Alfiyati, N. (2017). *Analysis of Airy Point Application on Line Scale Calibration in RCM LIPI*. Jurnal Standardisasi, 20(3), 189–195.
- Kodoatie, R. J., & Sjarief, R. (2008). *Pengelolaan sumber daya air terpadu* (Edisi revisi). Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Martdianto, R., & Kadri, T. (2013). Prioritas Penentuan Lokasi Waduk Pada Das Ciliwung Untuk Pengendalian Banjir Jakarta. *J@Ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 7(2), 123–130. <https://doi.org/10.12777/jati.7.2.123-130>
- Nugroho, D. A. (2022). *Analisis tinggi muka air Waduk Tukul (TMA 2)* [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta]. Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil.
- Nusantara, A., & Dianeka, B. (2023). *Pemodelan Hidrologi DAS Menggunakan HEC-HMS*. Andalas Press.
- Pratiwi, Z. N., & Santosa, P. B. (2021). Pemodelan Banjir dan Visualisasi Genangan Banjir untuk Mitigasi Bencana di Kali Kasin, Kelurahan Bareng, Kota Malang. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 56. <https://doi.org/10.22146/jgise.56525>
- PT. Indra Karya (Persero). (2019). Laporan Akhir Sertifikasi Desain Bendungan Tiu Suntuk di Kabupaten Sumbawa Barat. Dinas Pekerjaan Umum Penataan Ruang Perumahan dan Permukiman Kabupaten Sumbawa Barat, Taliwang.
- PT. Indra Karya (Persero). (2021). Laporan Akhir Supervisi Penyelesaian Pembangunan Bendungan Utama dan Pembangunan Spillway Bendungan Bintang Bano di Kabupaten Sumbawa Barat. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, Mataram.
- PT. Bhawana Prasasta. (2022). Laporan Akhir Review Penataan Kawasan Danau Lebo Taliwang di Kabupaten Sumbawa Barat. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, Mataram.
- Siregar, I. Y. (2021). Pemodelan genangan banjir di Kecamatan Cisarua, Bogor menggunakan HEC-RAS 2D [Skripsi, Universitas Pertamina]. Jakarta: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi. Sujono, J., & Jayadi, R. (2009). Materi Kuliah Hidrologi Terapan. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Sujono, J., & Jayadi, R. (2009). *Pemodelan hidrologi DAS menggunakan pendekatan HEC-HMS*. Andi Offset.
- Sukmajati, E. I., Kusuma, M. S. B., Hatmoko, W., Farid, M., & Natasaputra, S. (2022). Kajian Model Matematik Efektivitas Normalisasi Sungai Terhadap Penurunan Risiko Banjir Studi Kasus: Sungai Tikala Kota Manado. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 301–308. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.7>
- Sulaeman, & Kusnadi. (2010). *Kalibrasi Sensor Temperatur dengan Metoda Perbandingan Dan Simulasi*. Neliti. <https://media.neliti.com/media/publications/161764-ID-kalibrasi-sensor-temperatur-dengan-metod.pdf>
- Ting, C. K., Zhou, X., & Wong, W. H. (2023). *Model Calibration And Validation from a Statistical Inference Perspective*. arXiv. <https://arxiv.org/pdf/2309.08562>
- Tohme, A., Smith, J., & Lee, R. (2019). Bayesian calibration approach for hydrological model integration. *Journal of Hydrologic Modelling*, 14(2), 120–135.