

Analisa debit banjir rancangan Bendungan Palasari menggunakan HEC-HMS

Ni Luh Putri Prabandari*, I Putu Gustave Suryantara Pariartha, Silvia Gabrina Tonyes

Magister Teknik Sipil, Universitas Udayana, Denpasar, Bali, Indonesia

*Corresponding authors: putriprabandari03@gmail.com

Submitted: 2 January 2025, Revised: 11 March 2025, Accepted: 25 March 2025

ABSTRACT: The Palasari Dam is a rock fill structure with a flood storage capacity of 10.37 million m³ and encompasses a catchment area of 40.75 km². In recent years, catastrophic climate changes have caused considerable variations between drought and intense rainfall, heightening the danger of dam failure owing to abrupt increases in water volume. This study is to assess the anticipated flood flow in the Palasari Watershed utilizing the Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) methodology within the HEC-HMS software. The utilized data include maximum annual rainfall from the CHIRPS satellite for the years 2004 to 2023, land use information retrieved from the Indonesia Geospatial Portal, and soil type data derived from HWSD v.2 (FAO). Simulations were performed for recurrence intervals of 5, 10, 25, 50, 100, and 1000 years, in addition to the Probable Maximum Flood (PMF). Validation indicates that the SCS approach in HEC-HMS yields greater flood discharge predictions than the Nakayasu method utilized in the 2018 Special Study of the Palasari Dam. The minimum discharge recorded at a 5-year return period was 64.60 m³/second, whilst the maximum discharge reached during the Probable Maximum Flood (PMF) was 710.70 m³/second. A notable discrepancy is evident in QPMF, with the SCS method documenting a discharge of 710.70 m³/second, surpassing the Nakayasu method's output of 686.07 m³/second. The SCS-CN method demonstrates a more conservative approach in calculating flood discharge, hence enhancing the safety margin in dam planning. Conversely, HEC-HMS offers advantages in assessing lag time and its integration with GIS, rendering it a more pragmatic method for water resource management in Indonesia. This research significantly enhances the formulation of Emergency Action Plans (EAP), especially in the context of dam failure analysis, aimed at mitigating risks associated with high flooding.

KEYWORDS: CA Palasari; design flood; HEC-HMS; SCS-CN method.

ABSTRAK: Bendungan Palasari adalah struktur bendungan yang dibangun dari urugan batu, memiliki kapasitas tampungan banjir sebesar 10.37 juta m³ dan mencakup luas daerah tangkapan air (DTA) sebesar 40.75 km². Dalam beberapa tahun terakhir, perubahan iklim ekstrem telah menghasilkan fluktuasi signifikan antara periode kekeringan dan curah hujan tinggi, yang meningkatkan risiko kegagalan bendungan akibat lonjakan volume air yang mendadak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi debit banjir rencana di DTA Palasari menggunakan metode Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) dalam perangkat lunak HEC-HMS. Data yang digunakan mencakup curah hujan maksimum tahunan yang diperoleh dari satelit CHIRPS untuk periode 2004 hingga 2023, informasi tata guna lahan yang diakses melalui Indonesia Geospatial Portal, serta data mengenai jenis tanah yang bersumber dari HWSD v.2 (FAO). Simulasi dilaksanakan untuk periode pengulangan 5, 10, 25, 50, 100, dan 1000 tahun, serta PMF. Validasi menunjukkan bahwa metode SCS dalam HEC-HMS menghasilkan estimasi debit banjir yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode Nakayasu yang diterapkan dalam Studi Spesial Bendungan Palasari Tahun 2018. Debit terendah tercatat pada periode ulang 5 tahun dengan nilai 64.60 m³/detik, sementara debit tertinggi yang dicapai pada PMF adalah 710.70 m³/detik. Perbedaan signifikan terlihat pada QPMF, di mana metode SCS mencatat debit 710.70 m³/detik, yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode Nakayasu yang menghasilkan 686.07 m³/detik. Hal ini menunjukkan bahwa metode SCS-CN lebih konservatif dalam mengestimasi debit banjir, yang dapat meningkatkan margin keamanan dalam perencanaan bendungan. Keunggulan HEC-HMS dalam menganalisis keterlambatan waktu (lag time) serta integrasinya dengan GIS menjadikannya metode yang lebih praktis dalam pengelolaan sumber daya air di Indonesia. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap perencanaan Rencana Tindak Darurat (RTD), khususnya dalam analisis keruntuhan bendungan, untuk mengurangi risiko yang disebabkan oleh banjir ekstrem.

KATA KUNCI: DTA Palasari; banjir rencana; HEC-HMS; metode SCS-CN.

1. PENDAHULUAN

Bendungan Palasari merupakan bendungan urugan batu dengan inti tegak yang terletak di Desa Ekasari, Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Bali. Bendungan ini dibangun pada tahun 1986 hingga 1989 dan memiliki kapasitas tampungan saat banjir sebesar 10.37 juta m³. Bendungan ini dimanfaatkan untuk irigasi lahan sawah seluas 933 hektar dengan luas daerah tangkapan air (DTA) sebesar 40.75 km². Sebagai salah satu bendungan besar di Indonesia, Bendungan Palasari memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan dan pengelolaan sumber daya air di wilayahnya. Namun, seperti halnya bendungan besar lainnya, Bendungan Palasari juga memiliki potensi risiko bencana yang perlu diantisipasi secara sistematis (Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, 2023).

Perubahan iklim yang ekstrem dalam beberapa tahun terakhir telah meningkatkan risiko bencana hidrologi (Siregar, 2020). Pada akhir tahun 2023 Bendungan Palasari mengalami kekeringan yang signifikan akibat kemarau berkepanjangan dengan volume waduk menurun hingga 579.015 m³ (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2023). Perubahan iklim yang ekstrem ini dapat meningkatkan risiko kegagalan bendungan akibat fluktuasi tajam antara periode kekeringan dan curah hujan ekstrem. Ketika permukaan air mengalami kenaikan mendadak, terdapat peningkatan risiko keruntuhan (Khairi et al., 2022; Suhada et al., 2022). Banjir bandang juga dapat terjadi akibat ketidakmampuan bendungan dalam menampung lonjakan volume air secara tiba-tiba, yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur (Haryanto & Utomo, 2022).

Salah satu elemen penting dalam pengelolaan bendungan adalah penyusunan Rencana Tindak Darurat (RTD). Dokumen RTD berfungsi sebagai pedoman bagi pengelola bendungan dalam menghadapi kondisi darurat, termasuk mitigasi risiko akibat potensi keruntuhan bendungan. Sesuai dengan pedoman dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, kegagalan bendungan dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti *overtopping*, *piping* pada tubuh bendungan, keretakan struktur, hingga sabotase. Kegagalan tersebut dapat menyebabkan bencana banjir besar di hilir bendungan yang mengancam kehidupan manusia, harta benda, dan lingkungan. Oleh karena itu, analisis keruntuhan bendungan menjadi komponen utama dalam penyusunan RTD, termasuk penghitungan debit banjir rancangan untuk memastikan kapasitas bendungan aman terhadap ancaman banjir ekstrem (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 7 Tahun 2023 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan, 2023).

Analisis debit banjir rancangan merupakan tahapan awal dalam evaluasi kapasitas hidraulik bendungan, seperti kemampuan pelimpah dalam mengalirkan debit puncak banjir. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan debit maksimum yang diharapkan dalam periode tertentu dan memastikan bahwa bendungan yang dirancang atau sedang beroperasi dapat menampung volume air tersebut tanpa mengalami kegagalan struktural (Al-Ambari et al., 2023; Ikhsan, 2020). Analisis ini penting dilakukan untuk mencegah potensi bencana banjir akibat meluapnya bendungan sehingga, tidak hanya mendukung keselamatan struktur bendungan tetapi juga melindungi wilayah hilir dari ancaman genangan. Analisa ini mempertimbangkan dampak iklim yang semakin tidak terduga dan intensitas hujan yang meningkat (Rismasari et al., 2018).

Penelitian serupa telah dilakukan di DTA Bendungan Palasari dalam Pekerjaan *Special Study* Bendungan Palasari, Benel, Gerokgak, dan Telaga Tunjung di Provinsi Bali Tahun 2018, dengan menggunakan metode *Nakayasu* untuk analisis debit banjir rancangan (Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, 2018). Metode empiris seperti *Nakayasu* lebih sederhana, namun hanya dapat digunakan untuk daerah aliran sungai kecil dengan waktu perjalanan air yang relatif cepat (Harisuseno et al., 2020). Metode ini mengasumsikan kepadatan aliran yang konstan dan tidak memperhitungkan faktor-faktor seperti infiltrasi tanah atau tanah yang jenuh, yang dapat mempengaruhi hasil perhitungan debit rancangan (Ardinata et al., 2020).

Dalam penelitian ini, digunakan perangkat lunak HEC-HMS dengan metode SCS-CN yang memungkinkan pemodelan proses hidrologi secara lebih detail berdasarkan data hujan, karakteristik fisiografis DTA, serta parameter transformasi aliran (Marko & Zulkarnain, 2018). Berbeda dengan studi sebelumnya, penelitian ini menggunakan data curah hujan satelit CHIRPS (*Climate Hazards Center InfraRed Precipitation*) selama 20 tahun terakhir (2004–2023), data tata guna lahan dari Indonesia Geospatial Portal, serta data jenis tanah dari HWSD v.2 (FAO) untuk meningkatkan akurasi estimasi debit banjir rancangan.

HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System*) adalah program yang dikembangkan oleh *U.S Army Corps of Engineering*. HEC-HMS digunakan untuk memodelkan hujan aliran untuk analisis debit banjir rancangan. HEC-RAS lebih cocok untuk analisis hidraulik dan pergerakan aliran dalam sungai, bukan untuk memodelkan respons hidrologi DAS terhadap curah hujan (Suprayogi et al., 2021). SWAT lebih sering digunakan untuk analisis dampak perubahan penggunaan lahan dan siklus air dalam jangka panjang, tetapi membutuhkan data yang lebih rinci dan kompleks, sementara penelitian ini berfokus pada pemodelan debit banjir rancangan

dengan pendekatan *event-based* yang lebih sesuai menggunakan HEC-HMS (Liu et al., 2021).

Pemodelan dilakukan dengan beberapa tahapan utama yaitu uji konsistensi data, pembuatan model DTA, *input* parameter, dan *running program* (Pariartha et al., 2021). Terdapat tiga jenis parameter *loss method SCS Curve Number* yaitu *Curve Number* (estimasi limpasan), *impervious area* (luas daerah kedap air), dan *initial abstraction* (resapan awal). Metode ini lebih efektif untuk daerah dengan variasi tata guna lahan yang signifikan dan data historis debit yang terbatas (Listyarini et al., 2018). Selain itu model HEC-HMS juga mempertimbangkan keterlambatan waktu (*lag time*) antara curah hujan dan aliran limpasan, yang penting dalam memahami dinamika banjir. Model ini dapat diintegrasikan dengan data dari pengukuran curah hujan yang lebih kompleks melalui sistem GIS, sehingga meningkatkan akurasi pemodelan hidrologi (Hak et al., 2022; Putiamini et al., 2017). Hidrograf yang dihasilkan dari permodelan ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti studi ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, analisis pengaruh urbanisasi, perancangan pelimpah bendungan, mitigasi dampak banjir, pengelolaan daerah genangan, hidrologi lahan basah, hingga operasi sistem waduk (Pariartha et al., 2021).

Simulasi dengan HEC-HMS sangat penting untuk menganalisis potensi debit puncak yang terjadi pada periode ulang tertentu. Dalam penelitian ini, digunakan kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 1000 tahun, serta PMF (Balai Teknik Bendungan, 2022b). Data debit banjir hasil simulasi ini tidak hanya digunakan untuk menilai keamanan hidraulik bendungan terhadap limpasan air tetapi juga sebagai parameter utama dalam pemodelan keruntuhan bendungan. Keruntuhan bendungan dapat mengakibatkan banjir dahsyat yang menimbulkan kerugian besar berupa kerusakan fisik, lingkungan, dan sosial di daerah hilir (Murdhianti et al., 2016). Oleh sebab itu, penting untuk menggunakan alat analisis seperti HEC-HMS yang dapat memberikan hasil simulasi yang komprehensif dan mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan bendungan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi debit banjir rencana di DTA Palasari menggunakan metode *Soil Conservation Service-Curve Number* (SCS-CN) dalam perangkat lunak HEC-HMS. Penelitian ini juga memanfaatkan data curah hujan dari satelit CHIRPS, yang memungkinkan estimasi hujan dengan cakupan yang lebih luas dibandingkan data dari stasiun hujan tunggal. Selain itu, hasil penelitian ini berupa debit banjir rancangan yang dapat digunakan untuk analisa keruntuhan bendungan sebagai dasar penyusunan dokumen RTD untuk mengantisipasi dampak kegagalan bendungan.

2. METODOLOGI

2.1 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi seperti:

- a. Data curah hujan maksimum tahunan satelit *CHIRPS* selama 20 tahun terakhir pada DTA Bendungan Palasari tahun 2004–2023 yang diunduh melalui *GEE (Google Earth Engine)*.
- b. Data tata guna lahan diakses melalui *website Indonesia Geospatial Portal*.
- c. Data jenis tanah didapatkan dengan alat bantu aplikasi HWSD v.2 yang telah disediakan pada *website FAO* (www.FAO.org).
- d. Data teknis bendungan didapatkan dari Balai Wiayah Sungai Bali Penida.

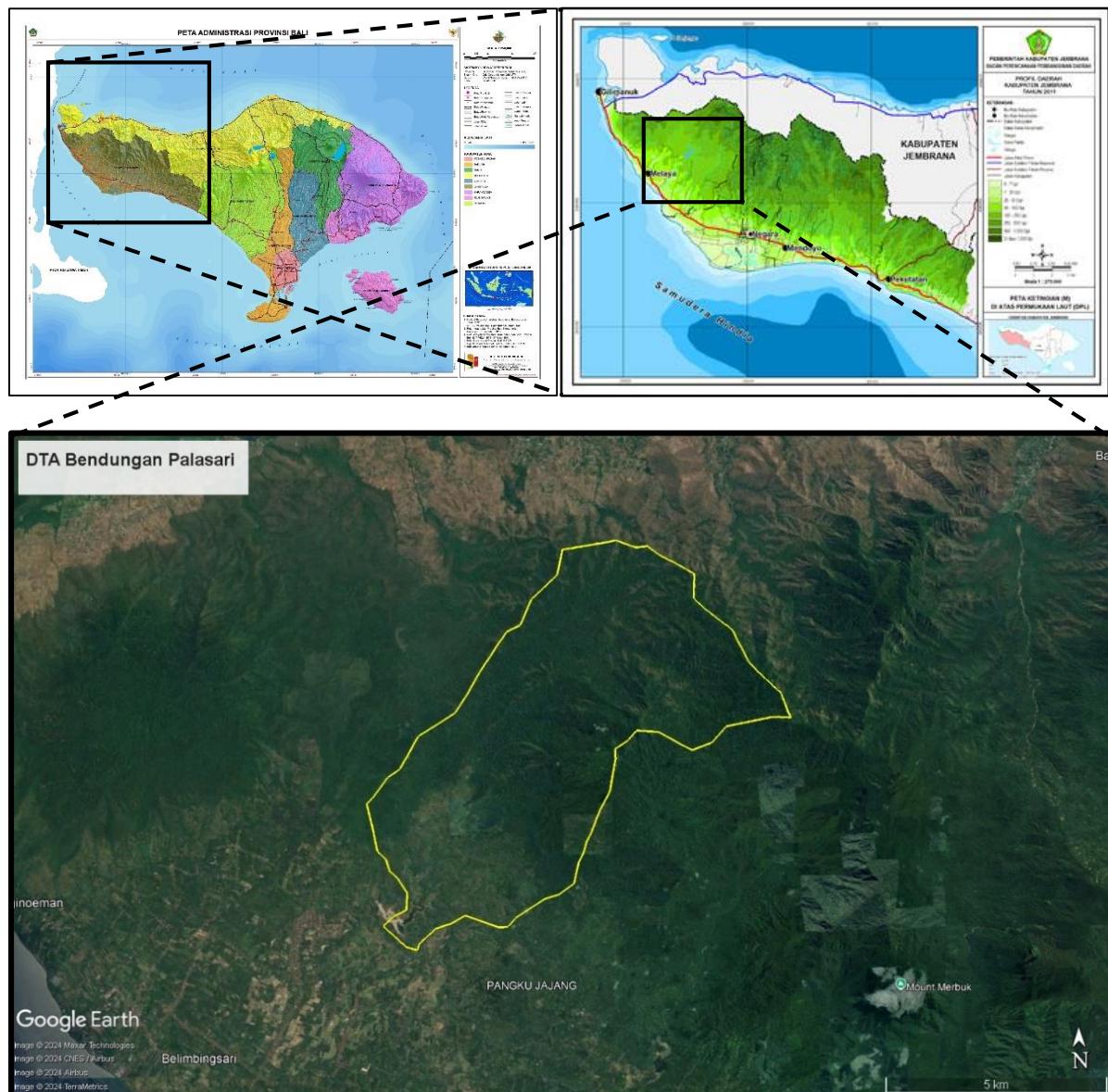
Data sekunder yang diperoleh kemudian digunakan untuk penentuan parameter dalam melakukan analisa debit banjir rancangan pada program HEC-HMS.

2.2 Lokasi Penelitian

Pemilihan DTA Palasari sebagai lokasi penelitian didasarkan pada adanya perubahan signifikan dalam kondisi hidrologi yang dipengaruhi oleh perubahan iklim. Selain itu, berdasarkan hasil penilaian kinerja operasi dan layanan bendungan palasari, terdapat empat komponen utama yang dievaluasi, yaitu pedoman operasi dan pemeliharaan (OP), operasi bendungan, layanan bendungan, dan RTD. Dari keempat aspek tersebut, komponen RTD mendapatkan skor 68, yang menunjukkan perlunya peningkatan dalam perencanaan mitigasi risiko bencana apabila terjadi kegagalan bendungan. Nilai ini mencerminkan bahwa aspek kesiapsiagaan terhadap kemungkinan bencana akibat kerusakan atau kegagalan struktur masih memerlukan perhatian lebih lanjut, terutama dalam penyusunan dokumen RTD yang berbasis pada kajian hidrologi dan analisis risiko (BWS Bali-Penida, 2023).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan di DTA Palasari untuk mengevaluasi kapasitas hidraulik bendungan dalam menghadapi berbagai skenario debit puncak. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam penyusunan dokumen RTD Bendungan Palasari, sehingga mitigasi risiko bencana dapat direncanakan secara lebih komprehensif untuk melindungi wilayah hilir dari dampak banjir ekstrem.

Luas DTA Bendungan Palasari sebesar 40.75 m^2 dengan panjang sungai utama yaitu sungai Sanghiang Gede sepanjang 22.4 m. Bendungan Palasari yang digunakan sebagai titik hilir pada DTA secara geografis berada pada koordinat $8^\circ 15' 12.34''\text{LS}$ dan $114^\circ 32' 58.04''\text{BT}$. Bendungan Palasari terletak di Desa Ekasari, Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali seperti yang disajikan pada Gambar 1 yang diperoleh dari peta tematik indo, Instansi Kabupaten Jembrana, dan *Google Earth*.



Gambar 1. Lokasi penelitian

2.1 Langkah Penelitian

2.1.1 Pengujian Konsistensi Data

Dalam melakukan analisa curah hujan rancangan untuk bendungan, dilakukan pemeriksaan data hujan dengan menggunakan uji *outlier*. Data curah hujan pada penelitian ini tidak menggunakan data pengukuran lapangan, tetapi menggunakan data sekunder yang berasal dari penginderaan jauh dengan satelit CHIRPS sepanjang 20 tahun dari 2004 sampai 2023. Hal ini karena pada DTA Palasari hanya terdapat 1 stasiun pencatatan curah hujan yaitu Stasiun Hujan Palasari, sedangkan berdasarkan peraturan WMO (*World Meteorological Organization*) memberikan pedoman terkait kerapatan minimum stasiun penakar hujan suatu DTA pada pulau dengan pegunungan kecil

sebesar 25 km^2 (10 mil²) untuk tiap penakar (Azhari et al., 2022; Balai Teknik Bendungan, 2022a)

2.1.2 Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi berfungsi untuk menentukan besarnya hujan rancangan pada kala ulang tertentu. Metode distribusi frekuensi yang biasa diterapkan yaitu Metode Normal, Metode *Log Normal*, Metode *Log Pearson III*, dan Metode *Gumbel*. Untuk menentukan kesesuaian data yang dimiliki agar dapat diterapkan distribusi peluang dengan salah satu metode, dapat ditentukan dengan menghitung koefisien kemencenggan (*skewness*) atau CS dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*) atau CK (Limantara, 2018). Pemilihan metode dilakukan dengan membandingkan nilai CS dan CK hasil perhitungan dengan rentang nilai yang

direkomendasikan dalam literatur hidrologi. Metode distribusi probabilitas yang paling memenuhi syarat berdasarkan nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk analisis hujan rancangan. Hasil analisis lebih lanjut mengenai pemilihan distribusi probabilitas yang paling sesuai disajikan dalam bagian hasil dan pembahasan. Syarat dalam penetuan metode distribusi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter statistik untuk menentukan jenis distribusi

No.	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	$CS \approx 0$ $CK = 3$
3	<i>Log Normal</i>	$CS \approx 3 CV$
4	<i>Gumbel</i>	$CS = 1.1396$ $CK = 5.4002$
5	<i>Log Pearson Type III</i>	Tidak ada syarat

Sumber: (Rahman, 2021)

2.1.3 Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi (PMP/ Probable Maximum Precipitation)

PMP merupakan hujan maksimum yang mungkin terjadi di suatu daerah berdasarkan kondisi meteorologi dan klimatologi. Hujan PMP digunakan sebagai dasar untuk menghitung debit banjir rancangan *Probable Maximum Flood* (PMF) yang digunakan dalam perencanaan dan evaluasi keamanan bendungan (Damayanti et al., 2022; Husna et al., 2022; Simatupang et al., 2020). Dalam menghitung hujan PMP menggunakan metode *Hershfield*. Metode ini dapat digunakan untuk area dengan luas kurang dari 1000 km² menggunakan Persamaan 1. (Wangwongwiwo & Khemngoen, 2019)

$$X_m = \bar{X}_p + K_m S_p \quad (1)$$

dimana X_m adalah nilai hujan maksimum boleh jadi atau PMP, \bar{X}_p adalah rata-rata seri data hujan harian maksimum tahunan sebanyak n yang telah dikalikan faktor penyesuaian, K_m adalah nilai fungsi dari durasi hujan dan rata-rata hujan harian maksimum tahunan, dan S_p adalah simpangan baku dari data hujan harian maksimum tahunan sebanyak n yang telah dikalikan faktor penyesuaian.

2.1.4 HEC-HMS

HEC-HMS adalah program yang dapat memberikan simulasi hidrologi dari data curah hujan jam-jaman maupun harian untuk perhitungan debit banjir rencana dari suatu DTA (Ramandany et al., 2023; Sabriyati & Hadi, 2022). Program HEC-HMS menggunakan teori klasik hidrograf satuan dalam permodelannya. Seperti hidrograf satuan sintetik *Snyder*, *Clark*, *SCS*, ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas user define hydrograph (*US Army Corps of Engineers*, 2022).

Metode SCS dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak HEC-HMS untuk permodelan dan debit banjir rancangan. Hasil analisis menggunakan metode SCS dalam HEC-HMS dapat memprediksi debit puncak banjir, debit limpasan, dan skenario mitigasi banjir (Marko & Zulkarnain, 2018). Metode SCS didasarkan pada konsep *curve number* (CN) yang merepresentasikan karakteristik hidrologi suatu DTA, seperti jenis tanah, penggunaan lahan, dan kelembaban awal. (Listyarini et al., 2018; Soulis & Valiantzas, 2011).

Dalam melakukan analisis debit banjir, metode SCS yang diintegrasikan dengan HEC-HMS memiliki sejumlah keunggulan, terutama di wilayah dengan data pengukuran yang terbatas. Metode ini menggunakan *curve number* (CN) untuk memperkirakan debit banjir berdasarkan data penggunaan lahan, jenis tanah, dan kondisi kelembaban awal dengan data yang minimum. Metode ini juga unggul dalam menghasilkan berbagai parameter penting seperti waktu puncak, waktu tunda, dan durasi banjir, yang sangat bermanfaat untuk perencanaan infrastruktur dan mitigasi risiko banjir (Klau et al., 2024). Pada DTA yang mencakup berbagai penggunaan lahan dan jenis tanah, nilai CN dihitung secara keseluruhan sebagai nilai komposit menggunakan Persamaan 2. (Munajad, R. and Suprayogi, 2015)

$$CN_{kom} = \frac{\sum A_i \times CN_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

dimana CN kom adalah CN komulatif, A_i adalah luas masing-masing penggunaan lahan dan jenis tanah CN_i adalah CN masing-masing penggunaan lahan dan jenis tanah.

Parameter yang digunakan selain CN adalah *impervious* (Imp), *initial abstraction* (Ia), dan *lag time* (tp). *Impervious* dapat ditentukan berdasarkan jenis tata guna lahan tanpa bergantung pada jenis tanah. adalah total air yang hilang sebelum dimulainya curah hujan. Apabila *initial abstraction* berada pada tingkat yang tinggi, maka akan terjadi kehilangan air sebelum proses limpasan berlangsung yang mengakibatkan debit yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Sebaliknya, jika *initial abstraction* rendah, debit yang dihasilkan akan lebih besar. *Initial abstraction* (Ia) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4. Sedangkan *lag time* atau lama waktu kelambatan untuk mengetahui puncak unit hidrograf pada metode SCS dapat dihitung menggunakan Persamaan 5 dan Persamaan 6 (Wasono et al., 2022).

$$Ia = 0.2 \times S \quad (3)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (4)$$

$$tp = 0.6 T_c \quad (5)$$

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} Slope^{-0.385} \quad (6)$$

dimana Ia adalah *initial abstraction*, S adalah Nilai retensi maksimum, tp adalah *lag time*, Tc adalah waktu konsentrasi, dan L adalah panjang sungai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1.1 Analisis Outlier

Data curah hujan harian maksimum tahunan DTA Palasari dari satelit CHIRPS selama 20 tahun terakhir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Curah hujan harian maksimum tahunan (HHMT) DTA Palasari

No.	Tahun	HHMT (mm)
1	2004	102.07
2	2005	73.08
3	2006	61.95
4	2007	47.23
5	2008	43.68
6	2009	56.63
7	2010	70.08
8	2011	52.66
9	2012	51.15
10	2013	58.25
11	2014	93.11
12	2015	48.20
13	2016	99.22
14	2017	118.75
15	2018	66.50
16	2019	40.13
17	2020	64.20
18	2021	67.69
19	2022	68.87
20	2023	67.92

Hasil analisis *outlier* menunjukkan bahwa ambang atas data (X_H) adalah 129.98 mm dan ambang bawah data (X_L) adalah 32.30 mm. Dengan demikian, data HHMT DTA Palasari memenuhi kriteria ambang bawah dan ambang atas, dengan nilai minimum data HHMT tercatat sebesar 40.13 mm dan nilai maksimum sebesar 118.75 mm.

3.1.2 Pemilihan Metode Distribusi

Pemilihan metode distribusi probabilitas dalam analisis hujan rancangan dilakukan berdasarkan perhitungan nilai koefisien CS, CV, dan CK untuk memastikan distribusi yang paling sesuai dengan karakteristik data curah hujan di DTA Palasari. Nilai CS digunakan untuk mengukur tingkat kemencenggan distribusi data hujan, CV menggambarkan tingkat variasi data terhadap rata-ratanya, dan CK menunjukkan kepuncakan distribusi data. Dengan membandingkan hasil perhitungan ketiga parameter ini dengan nilai acuan dari masing-masing distribusi probabilitas, metode yang paling sesuai dapat ditentukan. Hasil pemilihan metode distribusi

probabilitas berdasarkan nilai CS, CV, dan CK pada DTA Palasari disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pemilihan metode distribusi berdasarkan nilai CS, CV dan CK pada DTA Palasari

Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	CS ≈ 0 CK = 3	CS = 0.44 CK = -0.28	Tidak Memenuhi
Log Normal	CS ≈ 3CV	CS = 0.44 3CV = 0.2	Tidak Memenuhi
Gumbel	CS = 1.1396 CK = 5.4	CS = 0.44 CK = -0.28	Tidak Memenuhi
Log Pearson Type III		Tidak ada syarat	Memenuhi

Berdasarkan nilai CS, CV dan CK pada DTA Palasari metode distribusi yang dipilih untuk analisis data curah hujan harian maksimum tahunan dari Satelit CHIRPS adalah *Log Pearson Type III*. Metode ini telah terbukti efektif dan sering diterapkan di Indonesia dalam studi hidrologi, terutama untuk perhitungan curah hujan desain yang diperlukan dalam perencanaan infrastruktur hidrologi dan mitigasi bencana (Limantara, 2018).

3.1.3 Analisa Hujan Rancangan

Analisis curah hujan maksimum dapat dilakukan untuk Bendungan dengan merujuk pada SNI 7746 tahun 2012 yang mengatur tata cara perhitungan hujan maksimum boleh jadi dengan metode *Hershfield*. Nilai curah hujan rancangan diperoleh dengan periode ulang 5, 10, 25, 50, 100, 1000 tahun dan PMP, yang akan disajikan dalam Tabel 4 (Badan Standarisasi Nasional, 2012).

Tabel 4. Rekapitulasi hujan rancangan DTA Palasari

No	Tr (tahun)	Hujan Rancangan (mm/hari)
1	5	82.15
2	10	95.25
3	25	112.62
4	50	126.18
5	100	140.29
6	1000	192.47
7	PMP	533.56

Berdasarkan data teknis Bendungan Palasari, banjir desain pada pelimpah ditentukan menggunakan kala ulang debit banjir rancangan 1000 tahun. Namun, perlu dilakukan kontrol dengan debit banjir rancangan PMF.

3.1.4 Analisa Debit Banjir Rancangan

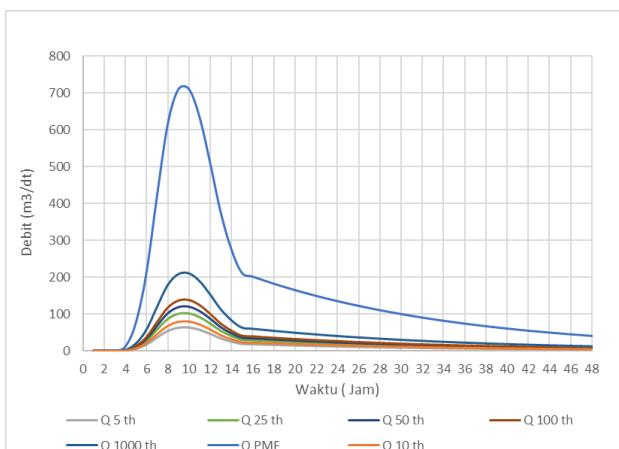
Perhitungan banjir rancangan dalam studi ini dilaksanakan dengan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik SCS-CN melalui program HEC-HMS, sesuai dengan acuan yang ditetapkan oleh Balai Teknik Bendungan. (Balai Teknik Bendungan, 2022b; Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, 2023) Dalam pemodelan ini, parameter utama yang digunakan meliputi *Curve Number* (CN), *impervious*, *initial abstraction* (Ia), dan *lag time* (Tp). Nilai parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 5. Data curah hujan yang digunakan berasal dari satelit CHIRPS periode 2004–2023, yang kemudian dianalisis dengan distribusi probabilitas untuk menentukan hujan rancangan pada berbagai periode ulang (5, 10, 25, 50, 100, 1000 tahun, dan PMF). Hasil simulasi debit banjir rancangan ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 2.

Tabel 5. Nilai CN, *impervious*, *initial abstraction*, dan *lag time* DTA Palasari

Parameter Hec-HMS	Nilai
CN	80.33
<i>Impervious</i>	5.00
<i>Initial Abstraction</i>	3.74
Tp	281.280

Tabel 6. Puncak debit banjir DTA Palasari

No	Tr (tahun)	Debit Banjir Rancangan (m ³ /dt)
		(m ³ /dt)
1	5	64.60
2	10	80.50
3	25	102.50
4	50	120.10
5	100	139.00
6	1000	211.10
7	PMF	710.70

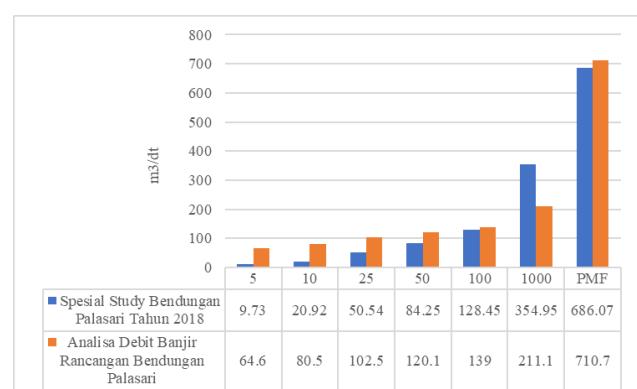


Gambar 2. Hidrograf banjir rancangan DTA Palasari

Menurut Tabel 4 dan Gambar 2, debit banjir terendah teridentifikasi pada periode ulang 5 tahun dengan nilai sebesar 64.60 m³/dt. Debit banjir tertinggi tercatat pada saat kala ulang PMF, dengan nilai sebesar 710.70 m³/dt. PMF merupakan estimasi banjir maksimum yang mungkin terjadi di suatu DTA akibat hujan maksimum yang mungkin terjadi biasa disebut PMP. PMF digunakan sebagai standar dalam melakukan analisa pada bangunan air seperti bendungan, untuk memastikan bahwa struktur tersebut dapat menahan potensi banjir ekstrem yang tidak terduga (Gangrade et al., 2018; Omar et al., 2022; Rastogi et al., 2017).

3.1.5 Perbandingan Debit Banjir Rancangan DTA Bendungan Palasari

Setelah didapatkan hasil pemodelan HEC-HMS metode SCS-CN dilakukan validasi model dengan membandingkan antara hasil perhitungan terkini dengan hasil perhitungan debit banjir rancangan sebelumnya yang tedapat pada pekerjaan *Special Study* Bendungan Palasari tahun 2018 menggunakan metode *Nakayasu*. Berikut disajikan perbandingan debit banjir rancangan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan Debit Banjir Rancangan DTA Bendungan Palasari

4. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan analisis terhadap debit banjir rencana dengan menggunakan metode SCS dalam program HEC-HMS untuk DTA Palasari. Diperoleh parameter yang digunakan yaitu nilai *Curve Number* (CN) sebesar 80.33, *Impervious* sebesar 5%, *Initial Abstraction* (Ia) sebesar 3.74 dan *lag time* (Tp) sebesar 281.28 menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa debit banjir terendah pada periode ulang 5 tahun adalah sebesar 64.60 m³/detik, sedangkan debit banjir tertinggi pada periode ulang PMF mencapai 710.70 m³/detik.

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan debit banjir rancangan pada penelitian ini dengan hasil perhitungan dari *Special Study* Bendungan Palasari Tahun 2018 yang menggunakan metode *Nakayasu*. Berdasarkan

perbandingan, terlihat bahwa hasil perhitungan metode SCS dalam penelitian ini menghasilkan nilai debit banjir yang lebih besar dibandingkan dengan metode Nakayasu pada studi sebelumnya. Perbedaan terbesar terjadi pada QPMF, di mana metode SCS menghasilkan debit $710.70 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan metode Nakayasu pada studi sebelumnya hanya memperoleh $686.07 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini menunjukkan bahwa metode SCS dengan HEC-HMS cenderung memberikan estimasi debit banjir yang lebih konservatif dibandingkan metode Nakayasu. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan pendekatan dalam perhitungan limpasan dan parameter hidrologi yang digunakan dalam kedua metode.

Temuan dari penelitian ini dapat memberikan dukungan terhadap analisis keruntuhan bendungan dalam perencanaan dokumen RTD. Penelitian ini memiliki keunggulan dalam penerapan metode SCS yang sederhana dan efisien, serta integrasi dengan HEC-HMS yang menghasilkan simulasi komprehensif untuk mitigasi bencana pada bangunan air. Namun, penelitian ini memiliki batasan dalam verifikasi hasil akibat keterbatasan data historis lapangan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan perbandingan metode serta mengumpulkan data historis yang lebih rinci guna meningkatkan akurasi hasil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian pertama dari Dokumen Tugas Akhir (*Thesis*) berjudul Pemetaan Genangan Banjir Dan Klasifikasi Bencana Akibat Keruntuhan Bendungan Palasari di Kabupaten Jembrana. Ucapan terima kasih kepada pembimbing, tim akademik, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan masukan berharga dalam proses penelitian dan penyusunan karya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ambari, N. R., Amal, N., & Helda, N. (2023). Analisis Kapasitas Sungai Balangan-Perbandingan Debit Terukur Dengan Metode Haspers. *Buletin Profesi Insinyur*, 6(3), 64–71. <https://doi.org/10.20527/bpi.v6i3.201>
- Ardinata, A., Poernomo, Y. C. S., & Candra, A. I. (2020). Studi Kolam Retensi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir Sungai Bruno Desa Sidomulyo Kecamatan Semen Kabupaten Kediri. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2), 205. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i2.1098>
- Azhari, Z. A., Limantara, L. M., & Fidari, J. S. (2022). Studi Rasionalisasi Kerapatan Jaringan Stasiun Hujan dengan Metode Kagan-Rodda di Sub DAS Bango. *Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2 No. 2(2), 234–245.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7746 Tata Cara Penghitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hersfield*.
- Balai Teknik Bendungan. (2022a). *Modul 1 Analisis Curah Hujan*.
- Balai Teknik Bendungan. (2022b). *Modul 2 Analisis Debit Banjir*.
- Balai Wilayah Sungai Bali-Penida. (2018). *Laporan Akhir* Special Study Bendungan Palasari, Benel, Gerokgak, dan Telaga Tunjung di Provinsi Bali.
- Balai Wilayah Sungai Bali-Penida. (2023). *Laporan Akhir Updating AKNOP Bendungan Palasari*.
- BWS Bali-Penida. (2023). *Laporan Akhir Updating AKNOP Bendungan Palasari tahun 2023*.
- Damayanti, A. C., Limantara, L. M., & Haribowo, R. (2022). Analisis Debit Banjir Rancangan Dengan Metode HSS Nakayasu, HSS ITB-1, Dan HSS Limantara Pada DAS Manikin Di Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2), 313. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.02.25>
- Gangrade, S., Kao, S., Naz, B. S., Rastogi, D., Ashfaq, M., Singh, N., & Preston, B. L. (2018). Sensitivity of Probable Maximum Flood in a Changing Environment. *Water Resources Research*, 54(6), 3913–3936. <https://doi.org/10.1029/2017wr021987>
- Hak, A. B., Cahyono, A. B., & Nurwatiq, N. (2022). Analisis Dan Validasi Hasil Simulasi Luapan Air Kali Kedungbener Di Kecamatan Kebumen Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Geoid*, 17(1), 62. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v17i1.10191>
- Harisuseno, D., Wahyuni, S., & Dwirani, Y. (2020). Penentuan Formulasi Empiris Yang Sesuai Untuk Mengestimasi Kurva Intensitas Durasi Frekuensi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(1), 47–60. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2020.01.01.06>
- Haryanto, I., & Utomo, H. (2022). Studi Awal Pengaruh Perubahan Iklim Terhadap Perkerasan Kaku Di Atas Tanah Lempong Ekspansif. *Jurnal Rekayasa Sipil (Jrs-Unand)*, 18(3), 165. <https://doi.org/10.25077/jrs.18.3.165-177.2022>
- Husna, S. lidia, Safriani, M., & Farizal, T. (2022). Perbandingan Analisis Debit Banjir Menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (Hss) Snyder Dan Nakayasu Pada Sungai Krueng Tripa. *Jurnal Media Teknik Sipil Samudra*, 3(2), 8–19. <https://doi.org/10.55377/jmsts.v3i2.5695>
- Ikhsan, C. (2020). Analisis Kapasitas Tanggul Sungai Kali Lamong Akibat Banjir Tahunan Dalam Kondisi Terendam Sebagian Dan Seluruhnya Dengan Software Hec-Ras 5.0. *Dinamika Teknik Sipil Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 13(1), 26–29. <https://doi.org/10.23917/dts.v13i1.11592>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Sistem Informasi Bendungan dan Waduk*. <https://sinbad.sda.pu.go.id/web/>
- Khairi, M. A. F., Suprijanto, H., & Hendrawan, A. P. (2022). Analisis Keruntuhan Bendungan Rukoh Kabupaten Pidie Menggunakan Aplikasi HEC-RAS Dan Berbasis InaSAFE. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 1–66. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2022.002.01.05>
- Klau, R. R., Lango, A. K. W., Krisnayanti, D. S., Udiana, I. M., & de Rozari, P. (2024). Prediction of Peak Discharge Using the SCS Curve Number Method in the Manikin Watershed. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1343(1), 12007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012007>
- Limantara, L. M. (2018). *Hidrologi Praktis*. UB Press.
- Listyarini, D., Hidayat, Y., & Tjahjono, B. (2018). Mitigasi Banjir Das Citarum Hulu Berbasis Model Hec-HMS. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 20(1), 40–48. <https://doi.org/10.29244/jitl.20.1.40-48>
- Liu, W., Hsieh, T.-H., & Liu, H.-M. (2021). Flood Risk Assessment in Urban Areas of Southern Taiwan. *Sustainability*, 13(6), 3180. <https://doi.org/10.3390/su13063180>
- Marko, K., & Zulkarnain, F. (2018). Pemodelan Debit Banjir Sehubungan Dengan Prediksi Perubahan Lahan

- Di Daerah Aliran Ci Leungsi Hulu Menggunakan HEC-HMS. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 2(1). <https://doi.org/10.7454/jglitrop.v2i1.31>
- Munajad, R. and Suprayogi, S. (2015). Kajian Hujan-Aliran menggunakan Model HEC-HMS di Sub Daerah Aliran Sungai Wuryantoro, Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 4(1).
- Murdhianti, A., Juwono, T., Asmaranto, R., Magister, M., Sumber, M., Air, D., & Brawijaya, U. (2016). Mitigasi Bencana Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Berdasarkan Dambreak Analysis Pada Bendungan Benel Di Kabupaten Jembrana. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(2), 193–204.
- Omar, S. M. A., Ariffin, W. N. H. W., Sidek, L. M., Basri, H., Khambali, M. H. M., & Ahmed, A. N. (2022). Hydrological Analysis of Batu Dam, Malaysia in the Urban Area: Flood and Failure Analysis Preparing for Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(24), 16530. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416530>
- Pariartha, I. P. G. S., Arimbawa, I. K. D., & Yekti, M. I. (2021). Analisis Debit Rencana Tukad Unda Bagian Hilir menggunakan HEC-HMS. *Jurnal Teknik Pengairan*, 12(2), 116–126. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2021.012.02.04>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 7 Tahun 2023 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (2023). <https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/2721/1>
- Putiamini, S., Kusratmoko, E., & Syamsudin, F. (2017). Pemodelan Kejadian Banjir Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu Dengan Menggunakan Data Radar. *Jurnal Geografi Lingkungan Tropik*, 1(1). <https://doi.org/10.7454/jglitrop.v1i1.3>
- Rahman, R. H. (2021). Analisis Perbandingan Perhitungan Debit Puncak Banjir Rancangan dengan Metode Der Weduwen, Melchior dan Haspers pada DAS Renggung. *Universitas Mataram*.
- Ramandany, V., Hariyanto, T., & Nurwatik, N. (2023). Analisis Daerah Rawan Banjir Menggunakan Metode Skoring Dan Pembobotan Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kabupaten Sidoarjo). *Jurnal Teknik Its*, 12(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i1.105728>
- Rastogi, D., Kao, S., Ashfaq, M., Mei, R., Kabela, E. D., Gangrade, S., Naz, B. S., Preston, B. L., Singh, N., & Anantharaj, V. (2017). Effects of Climate Change on Probable Maximum Precipitation: A Sensitivity Study Over the Alabama-Coosa-Tallapoosa River Basin. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 122(9), 4808–4828. <https://doi.org/10.1002/2016jd026001>
- Rismasari, R., Harisuseno, D., & Hendrawan, A. P. (2018). Kajian Penanggulangan Genangan Yang Terintegrasi Di Kawasan Pilang, Probolinggo. *Jurnal Teknik Pengairan*, 9(1), 47–59. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2018.009.01.5>
- Sabriyati, D., & Hadi, M. P. (2022). Kajian Hidrologi Debit Puncak Penyebab Banjir Bandang Menggunakan Pemodelan Hidrograf Satuan Sintesis-SCS (HSS-SCS). *Jurnal Akuatiklestari*, 5(2), 80–90. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v5i2.4527>
- Simatupang, S. A., Tanan, B., & Lukman, M. (2020). Tinjauan Perencanaan Terowongan Pengelak Bendungan Karalloe Di Kabupaten Gowa. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(1), 63–69. <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i1.123>
- Siregar, D. C. (2020). Analisis Variabilitas Curah Hujan Dan Suhu Udara Di Tanjungpinang. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 9(02), 45. <https://doi.org/10.24198/jmei.v9i2.23834>
- Soulis, K. X., & Valiantzas, J. D. (2011). *SCS-CN Parameter Determination Using Rainfall-Runoff Data in Heterogeneous Watersheds. The Two-Cn System Approach*. <https://doi.org/10.5194/hessd-8-8963-2011>
- Suhada, B., Nugroho, H., Suprapto, S., & Herawati, H. (2022). Analisis Keruntuhan Bendungan Akibat Piping Dan Pemetaan Genangan Banjir (Studi Kasus : Bendungan Saguling). *Jurnal Saintis*, 22(01), 1–10. [https://doi.org/10.25299/saintis.2022.vol22\(01\).8081](https://doi.org/10.25299/saintis.2022.vol22(01).8081)
- Suprayogi, S., Rifai, R., & Latifah, R. (2021). HEC-HMS Model for Urban Flood Analysis in Belik River, Yogyakarta, Indonesia. *Asean Journal on Science and Technology for Development*, 38(1). <https://doi.org/10.29037/ajstd.643>
- US Army Corps of Engineers. (2022). *HEC-HMS User's Manual*. US Army Corps of Engineers.
- Wangwongwiwoj, N., & Khemngoen, C. (2019). Probable Maximum Precipitation in Tropical Zone (Thailand) as Estimated by Generalized Method and Statistical Method. *International Journal of Climatology*, 39(13), 4953–4966. <https://doi.org/10.1002/joc.6119>
- Wasono, A., Sari, Y. K., Sangkawati, S., Nugroho, H., Sipil, T., Sipil, D. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2022). Analisis Debit Banjir Berdasarkan Data Curah Hujan Pada DAS Sekampung Menggunakan Pemodelan HEC-HMS. *AGREGAT*, 7(2), 686–692.