

Analisis Debit Puncak DAS Bengkenang Air Ndelengau Desa Ganjuh Kabupaten Bengkulu Selatan Menggunakan Pemodelan HEC-HMS Dengan Metode SCS Curve Number

Elfi Agustin^{1,*}, Gusta Gunawan¹, Rena Misliniyati¹, Khairul Amri¹, Besperi¹

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bengkulu, Bengkulu¹

Koresponden*, Email: agustinelvi19@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	21 September 2024	<i>River discharge is an important aspect in planning water resource management, especially for the purposes of utilizing water resources and mitigating flood disasters. This research aims to develop a spatial model of the relationship between rainfall and discharge that can predict discharge in a river basin (DAS) with various rainfall events. Hydrograph modeling was carried out based on the SCS Curve Number method with the help of the HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) Program. The rainfall data used is rainfall in the last 15 years, starting from 2009 to 2023. This model was tested in the Bengkenang watershed, South Bengkulu. The research results show that rain with a return period of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years and 50 years produces a discharge of 180.4 m³/sec, respectively; 232.4 m³/sec; 249.8 m³/sec; 266.9 m³/sec; and 277.3 m³/sec. The results of this research can be used as a guide in managing water resources in the Bengkenang watershed.</i>
Diperbaiki	30 Oktober 2024	
Disetujui	28 Februari 2025	

Keywords: bengkenang watershed, peak discharge, peak time, hydrograph, HEC-HMS

Kata kunci: DAS bengkenang air ndelengau, debit puncak, waktu puncak, hidrograf, HEC-HMS.

Abstrak

Debit sungai merupakan salah satu aspek penting dalam merencanakan pengelolaan sumber daya air, terutama untuk keperluan pemanfaatan sumber daya air dan mitigasi bencana banjir. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model hubungan hujan dan debit secara spasial yang dapat meramal debit pada suatu daerah aliran sungai (DAS) dengan berbagai kejadian hujan. Pemodelan hidrograf dilakukan berdasarkan metode SCS Curve Number dengan bantuan Program HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System). Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan dalam 15 tahun terakhir, mulai dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2023. Model ini diujicobakan pada DAS Bengkenang, Bengkulu Selatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hujan dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun, menghasilkan debit berturut-turut adalah sebesar 180,4 m³/det; 232,4 m³/det; 249,8 m³/det; 266,9 m³/det; dan 277,3 m³/det. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman dalam pengelolaan sumber daya air di DAS Bengkenang.

1. Pendahuluan

Penentuan debit puncak pada sungai merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, terutama untuk keperluan mitigasi banjir dan pengelolaan tata guna lahan [1]. Debit puncak sering kali dijadikan indikator utama dalam menilai potensi risiko banjir, menentukan kapasitas tampungan sungai, serta dalam perancangan infrastruktur pengendalian banjir yang efektif [2] [3] [4]. Penggunaan debit puncak dalam desain infrastruktur berperan penting dalam mengurangi dampak ekonomi dan sosial dari kejadian banjir, terutama di wilayah yang rentan terhadap hidrometeorologi ekstrem.

Namun, salah satu tantangan yang signifikan dalam proses ini adalah kurangnya data debit yang lengkap dan akurat. Kondisi ini sering kali ditemui di daerah-daerah terpencil atau wilayah yang minim infrastruktur pemantauan

hidrologi, sehingga memperumit estimasi debit puncak yang diperlukan untuk perencanaan [5]. Ketidakterersediaan data yang memadai dapat menyebabkan kesalahan dalam penentuan parameter-parameter hidrologi, yang pada gilirannya dapat mengakibatkan ketidakakuratan dalam simulasi hidrologi dan desain infrastruktur [6]. Oleh karena itu, pengembangan metode simulasi hidrologi yang mampu memperkirakan debit puncak dengan tingkat akurasi yang tinggi meskipun dengan keterbatasan data menjadi semakin krusial dalam memastikan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dan tahan terhadap perubahan iklim [7].

Meskipun perangkat lunak seperti HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System) telah banyak digunakan untuk memodelkan debit puncak, penelitian yang secara khusus mengevaluasi akurasi hasil simulasi pada sungai yang tidak memiliki data

debit yang lengkap masih terbatas. Sebagian besar studi terdahulu berfokus pada sungai-sungai dengan data yang cukup lengkap dan kontinu, sementara pendekatan yang digunakan pada sungai-sungai dengan data debit yang tidak memadai jarang dibahas secara mendalam. Selain itu, terdapat kebutuhan untuk mengembangkan parameterisasi yang lebih adaptif yang dapat mengakomodasi variabilitas data dan kondisi hidrologi di berbagai wilayah dengan berbagai tipe iklim dan topografi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi penerapan metode simulasi hidrologi, khususnya HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*), pada sungai-sungai yang kekurangan data debit guna meningkatkan akurasi dan keandalan prediksi debit puncak dalam konteks tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan pengetahuan tersebut dan memberikan kontribusi signifikan bagi pengelolaan sumber daya air di daerah-daerah yang minim data.

Artikel ini bertujuan untuk memaparkan proses penentuan debit puncak pada sungai yang tidak memiliki data debit lengkap dengan menggunakan metode simulasi hidrologi berbasis HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*). Studi kasus ini akan mengeksplorasi berbagai parameter yang berperan dalam model tersebut, serta menggambarkan bagaimana alat ini dapat digunakan untuk memperkirakan debit puncak dengan tingkat akurasi yang memadai, meskipun dengan keterbatasan data yang ada. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi solusi bagi pengelolaan sumber daya air yang lebih efisien dan berkelanjutan di daerah-daerah dengan data debit yang minim.

2. Metode

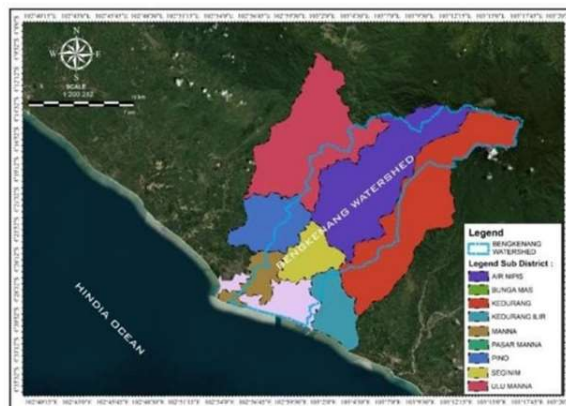
Penelitian ini menggunakan beberapa metode hidrologi yang berkaitan untuk membuat debit banjir rencana. Debit banjir rencana ini berupa debit per kala ulang sesuai dengan probabilitas, uji kesesuaian dan uji persyaratan curah hujan rencana. Untuk kala ulang yang digunakan pada penelitian ini yaitu kala ulang dalam 2,5, 10, 25, dan 50 tahun.

Perhitungan debit dengan berbagai periode ulang dilakukan untuk memahami variasi frekuensi dan intensitas kejadian banjir dalam jangka waktu yang berbeda, yang memiliki tujuan penting dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur serta mitigasi risiko. Dengan menghitung debit pada periode ulang yang bervariasi, seperti 2,5, 10, 25, dan 50 tahun, dapat diperoleh gambaran tentang besaran debit banjir yang mungkin terjadi pada frekuensi tertentu, yang berguna dalam merancang

infrastruktur seperti bendungan, saluran drainase, dan jembatan agar mampu menahan debit banjir pada berbagai tingkat kemungkinan kejadian. Selain itu, analisis periode ulang juga mendukung evaluasi risiko banjir dan pengembangan sistem peringatan dini, serta perencanaan kapasitas penyimpanan air yang optimal, seperti pada waduk atau reservoir. Dengan memahami debit pada berbagai periode ulang, strategi pengelolaan sumber daya air dapat lebih disesuaikan dengan potensi kejadian banjir yang berbeda. Hal ini juga relevan dalam menghadapi perubahan iklim, di mana analisis periode ulang membantu dalam pengembangan model prediktif yang lebih tepat untuk merumuskan strategi adaptasi terhadap kejadian banjir yang semakin sering dan intens.

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di DAS Bengkenang Air Ndelengau Desa Ganjuh Kabupaten Bengkulu Selatan Provinsi Bengkulu. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder di DAS Bengkenang Air Ndelengau Desa Ganjuh Kabupaten Bengkulu Selatan. Daerah aliran Sungai (DAS) Bengkenang Air sungai Ndelengau desa Ganjuh ini melewati beberapa bagian desa yaitu Kecamatan Air Nipis, Kecamatan Bunga Mas, Kecamatan Kedurang, Kecamatan Kedurang Ilir, Kecamatan Manna, Kecamatan Pasar Manna, Kecamatan Pino, Kecamatan Seginim, dan Kecamatan Ulu Manna. Berikut adalah peta lokasi penelitian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

B. Teknik Pengumpulan Data

Dalam Penelitian ini, pengumpulan data yang diperlukan yaitu data primer (langsung dari lapangan) dan data sekunder (dari instansi terkait) sebagai berikut:

- a. Data Primer, melakukan pengamatan langsung di lapangan dengan pengukuran dimensi sungai menggunakan *peilschall* dan *roll meter*, kecepatan aliran sungai menggunakan alat ukur *current meter*, dan menghitung debit sungai.

- b. Data Sekunder, mengumpulkan data dari beberapa instansi *BMKG*, untuk mengambil data curah hujan 15 tahun terakhir dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2023 pada stasiun Batu Kuning, Palak Siring, dan Batu Bandung. Berikut data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Penelitian

Jenis Data	Sumber Data
Curah hujan	BMKG Prov. Bengkulu
Data karakteristik DAS	BWSS VII Bengkulu
Data penampang sungai	Pengukuran di lapangan
DEM	Website BIG
Kecepatan aliran	Pengukuran di lapangan

C. Analisis Data

Tahapan analisis data dilakukan dengan menentukan curah hujan kawasan metode Poligon Thiessen, menentukan jenis distribusi curah hujan rencana, menentukan distribusi hujan jam-jaman dengan metode PSA 007 (model Genta), dan analisis debit banjir rencana, penginputan ke program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*), dan Permodelan Hidrograf Satuan Sintetik Curve Number (CN).

- a. Curah hujan kawasan metode *Polygon Thiessen*

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau satu titik saja. Untuk kawasan yang luas, satu penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan pada wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari nilai rata-rata curah hujan di beberapa stasiun penakar hujan yang ada di sekitar kawasan tersebut [8]. Dalam metode ini menghitung nilai dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan yang ada disekitarnya. Pada suatu luasan DAS dianggap bahwa hujan ialah sama dengan yang terjadi pada stasiun di dekatnya, sehingga hujan yang dicatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut [9]. *Polygon Thiessen* merupakan metode perhitungan hujan wilayah dengan basis interpolasi nilai curah hujan antara satu stasiun dengan stasiun lainnya [10]. Persamaan (1) adalah metode yang digunakan untuk Polygon Thiessen.

$$r = \frac{(A_1 \times d_1) + (A_2 \times d_2) + (A_3 \times d_3) + \dots + (A_n \times d_n)}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (1)$$

di mana :

- r = Tinggi curah hujan kawasan rata-rata (mm)
- $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3,...,n (km²)

$$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n = \text{Tinggi curah hujan di stasiun } 1,2,3,\dots,n \text{ (mm)}$$

- b. Pemilihan distribusi curah hujan rencana

Dalam distribusi curah hujan rencana ada tiga jenis metode yang digunakan yaitu Gumbel Tipe I, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III. Namun, dari hasil uji persyaratan masing-masing distribusi curah hujan menunjukkan bahwa metode Log Pearson Tipe III yang dapat diterima dan memenuhi persyaratan sehingga curah hujan rencana Log Pearson Tipe III yang akan digunakan dalam analisis distribusi curah hujan PSA 007. Persamaan (2) adalah formula matematis yang digunakan untuk Distribusi *Log Pearson Tipe III*.

$$y_T = \bar{y} + K_t \times S \quad (2)$$

di mana:

- y_T = Nilai logaritmik dari X atau $\log X$ dengan periode ulang T
- \bar{y} = Rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai y_T
- S = Deviasi standar nilai y_T
- K_t = Karakteristik distribusi peluang (koefisien kemencengan C_s) *Log Pearson Tipe III*

- c. Distribusi hujan jam-jaman metode PSA 007 (Model Genta)

Analisa distribusi hujan jam-jaman ini menggunakan metode PSA 007 yaitu perhitungan dengan memperkirakan presentase dari hujan total yang jatuh tiap jam nya. Apabila data pencatatan hujan jam-jaman pada stasiun hujan tidak tersedia, maka pola distribusi hujan dapat mengikuti pola yang sudah dikembangkan di wilayah lain. Salah satu pola distribusi hujan yang cocok digunakan adalah metode PSA 007.

- d. Debit banjir rencana

Debit banjir rencana (*design flood*) di Indonesia ditentukan berdasarkan data curah hujan yang tercatat, karena data debit banjir jarang sekali dapat diterapkan karena keterbatasan masa pengamatan, metode yang digunakan untuk debit banjir rencana ini adalah metode hidrograf satuan sintetik (HSS) SCS (Soil Conservation Services) CN (*Curve Number*) dengan menggunakan Software HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*). Hidrograf tidak mempunyai dimensi SCS (*Soil Conservation Services*) merupakan hidrograf satuan sintesis dimana debit dinyatakan sebagai nisbah waktu (t) terhadap waktu naik dari hidrograf satuan T_p . Jika debit puncak dan waktu keterlambatan dari suatu durasi hujan efektif (Lag Time) diketahui, maka hidrograf

satuan dapat diestimasi dari unit hidrograf sintesis SCS, Dimana:

Untuk menghitung Lag Time menggunakan Persamaan (3).

$$1. \text{Lag Time} = \frac{L^{0.8}(2540 - 22,86 \times CN)^{0.7}}{14,104 \times S^{0.5}} \quad (3)$$

di mana:

L = Panjang sungai (km)

CN = Curve Number (50-95)

S = Kemiringan sungai (m/m)

Untuk menghitung waktu naik menggunakan Persamaan (4).

$$2. \text{Waktu Naik} = \frac{T_r}{2} + T_p \quad (4)$$

di mana:

T_r = Satuan durasi hujan (jam)

T_p = Waktu puncak (jam)

Untuk menghitung *Time Base* menggunakan Persamaan (5).

$$3. \text{Time Base} = 5 \times T_p \quad (5)$$

di mana:

T_p = Waktu puncak (jam)

Untuk menghitung debit puncak menggunakan Persamaan (6).

$$4. Q_p = \frac{R \ A_{DAS}}{T_p \ A_{HSS}} \quad (6)$$

di mana:

Q_p = Debit puncak hidrograf (m³/s)

R = Curah hujan satuan (mm)

A_{DAS} = Luas DAS (km²)

T_p = Waktu puncak (jam)

A_{HSS} = Luas kurva hidrograf satuan

Nilai dari Curve Number dapat memperhitungkan total hujan untuk berbagai karakteristik DAS dengan tipe tanah dan tata guna lahan yang berbeda.

e. Program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*)

Program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) merupakan perangkat lunak domain publik untuk digunakan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG), HEC-HMS dan Analisis Spasial mengembangkan beberapa masukan pemodelan hidrologi. Setelah menganalisis informasi dari Digital Elevation Model (DEM), HEC-HMS mengubah jalur drainase dan batas DAS menjadi struktur data hidrologi yang mewakili respon DAS terhadap curah hujan [11]. Ada beberapa komponen utama dalam model HEC-HMS (*Hydrologic*

Engineering Centre-Hydrologic Modelling System) sebagai berikut:

1. Basin model yang berisi elemen-elemen DAS (daerah aliran sungai), hubungan antar elemen 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 masukan data antara lain hujan, debit.
5. *Paired* data yang berisi pasangan data seperti hidrograf satuan.

Dalam Model HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) menggunakan Metode Loss (Metode SCS CN), Metode Transform (Metode *SCS Unit Hydrograph*). Parameter-parameter ini terdapat dalam model HEC-HMS, yaitu sebagai berikut:

1. Metode Loss

Metode yang berfungsi menghitung bagian curah hujan yang hilang akibat infiltrasi, intersepsi, evaporasi, dan limpasan serta mencari curah hujan yang efektif. Hujan efektif atau hujan lebih (*excess precipitation*) yaitu hujan yang menyebabkan limpasan (*runoff*). Metode Loss yang digunakan ialah Metode SCS CN, dengan adanya parameter yang diperlukan yaitu *Initial Abstraction / InitLoss* (abstraksi awal), *Curve Number/CN* (bilangan kurva), dan *Persen Impervious/PctImp*. Pada metode SCS didasarkan pada penggunaan lahan di DAS Bengkenang yang akan mempengaruhi limpasan atau bagian curah hujan yang hilang.

- a. Curve Number

Berdasarkan ketentuan Curve Number pada model HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) adalah dengan analisis *overlay* antara peta penggunaan lahan dan peta kelompok hidrologi tanah. Angka nilai Curve Number berkisar dari 30 yang sesuai dengan jenis tanah permeabel dengan laju infiltrasi tinggi hingga sekitar 100 yang sesuai dengan badan air. Metode ini dinyatakan sebagai pengaruh hidrologi berdasarkan kelompok hidrologi tanah, penggunaan lahan, dan kandungan air tanah. Kelompok hidrologi tanah dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kelompok Hidrologi Tanah

Tutupan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah			
	A	B	C	D
Air Tawar	98	98	98	98
Hutan	57	73	82	86
Kebun	57	73	82	86
Padang Rumput/ Tanah Kosong	72	82	87	89
Pemukiman	61	75	83	87

Tutupan Lahan	Kelompok Hidrologi Tanah			
	A	B	C	D
Rawa	98	98	98	98
Sawah Irigasi	62	71	78	81
Sawah Tadah Hujan	72	81	88	91
Semak Belukar	48	67	77	83
Tanah Ladang	66	77	85	89

b. Persen *Impervious*

Angka Persen *Impervious* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persen *Impervious*

Penggunaan Lahan	Persen <i>Impervious</i>
Pohon	0
Rumput	5
Pemukiman Sedikit Penduduk	20
Pemukiman Banyak Penduduk	30
Komersial	85
Air	100

2. Metode Transform

Metode *transform* merupakan metode hidrograf satuan yang akan digunakan untuk memperhitungkan besarnya limpasan. Metode *transform* yang digunakan ialah metode SCS Unit Hydrograph. Metode ini membutuhkan parameter seperti *time lag* yaitu tenggang waktu antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf (debit puncak).

3. Hasil dan Pembahasan

A. Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari 15 tahun terakhir yaitu mulai dari tahun 2009 hingga tahun 2023 yang didapatkan dari BWSS (Balai Wilayah Sungai Sumatera) VII Provinsi Bengkulu dengan jumlah 3 pos hujan yang dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perhitungan Curah Hujan Maksimum

Tahun	Rmax Pos Hujan (mm)		
	Batu Kuning	Palak Siring	Batu Bandung
2009	26.50	76.00	756.00
2010	165.00	5.60	599.00
2011	17.50	5.40	562.00
2012	23.20	3.10	519.00
2013	46.10	30.00	552.00
2014	25.00	112.70	619.00
2015	29.50	29.30	391.00
2016	52.40	94.40	423.00
2017	33.40	82.20	563.00
2018	66.50	67.10	578.00
2019	84.10	65.50	525.00
2020	53.50	102.50	594.00
2021	60.00	48.20	367.00
2022	33.60	66.80	493.60
2023	62.30	50.30	306.00
Rata-rata	51.91	55.94	523.17

B. Curah hujan kawasan

Sungai Ndelengau berada pada DAS Bengkenang dengan 3 pos curah hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian sehingga perlu dilakukan analisis curah hujan kawasan pada penelitian ini menggunakan metode Polygon Thiessen. Analisis curah hujan Polygon Thiessen menggunakan aplikasi Arc-Map sehingga didapatkan pengaruh luas curah hujan yaitu untuk pos curah hujan Batu Kuning seluas 307,44 km², pos curah hujan Palak Siring seluas 176, 52 km², dan pos curah hujan Batu Bandung seluas 180,71 km². Curah hujan kawasan diperhitungkan menggunakan persamaan (1) sehingga hasil analisis curah hujan kawasan Polygon Thiessen yang telah diurutkan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Curah Hujan Yang Telah Diurutkan

Tahun	R _{thiessen} (mm)
2023	139.53
2015	149.93
2021	158.40
2012	181.77
2016	189.93
2022	194.97
2011	198.00
2013	209.37
2019	224.87
2017	226.20
2018	237.20
2020	250.00
2014	252.23
2010	256.53
2009	286.17

C. Distribusi curah hujan rencana

Distribusi ini adalah untuk mendapatkan curah hujan rencana yang memenuhi parameter sebagai syarat kecocokan sebaran distribusi. Analisis distribusi curah hujan rencana menggunakan 3 metode jenis distribusi yaitu Gumbel Tipe 1, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III. Maka dari ke 3 metode jenis distribusi ini yang dapat diterima dan memenuhi persyaratan yaitu curah hujan rencana Log Pearson Tipe III. Berikut hasil uji persyaratan sebaran distribusi dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Uji Persyaratan

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	Keterangan
Metode Gumbel Tipe I	$Ck = 5.4$ $Cs = 1.14$	$Ck = 3.35$ $Cs = 0.49$	Tidak Memenuhi
Metode Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv = 1.1198$ $Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3 = 5.31$	$Cs = -0.26$ $Ck = 0.39$	Tidak Memenuhi
Metode Log Pearson Tipe III	$Cs < 0$	$Cs = -0.26$	Memenuhi

Dari hasil uji persyaratan masing-masing distribusi curah hujan menunjukkan bahwa distribusi curah hujan rencana Log Pearson Tipe III dapat diterima dan memenuhi persyaratan sehingga curah hujan rencana Log Pearson Tipe III yang digunakan dalam analisis intensitas curah hujan PSA 007.

D. Distribusi hujan jam-jaman PSA 007 (Model Genta)

Nilai curah hujan rencana yang didapat dari analisis frekuensi perlu ditransformasi ke dalam bentuk hujan jam-jamannya. Transformasi dilakukan dengan menggunakan pola distribusi hujan, yang dapat diambil dari pencatatan stasiun hujan. Apabila data pencatatan hujan jam-jaman pada stasiun hujan tidak tersedia, maka pola distribusi hujan dapat mengikuti pola yang sudah dikembangkan di wilayah lain [12].

Curah hujan yang digunakan yaitu curah hujan yang telah memenuhi persyaratan distribusi yaitu curah hujan rencana metode Log Pearson Tipe III yang kemudian menghitung hujan netto dengan pengaruh dari koefisien pengaliran DAS Bengkenang, koefisien pengaliran berdasarkan tutupan lahan pada DAS E . Koefisien pengaliran dihitung rata-rata dengan Software Acr-Map 10.8 yang kemudian didapatkan nilai rata-rata koefisien pengaliran (C_p) sebesar 0,249. Berikut data curah hujan yang dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Curah Hujan Efektif Jam-Jaman

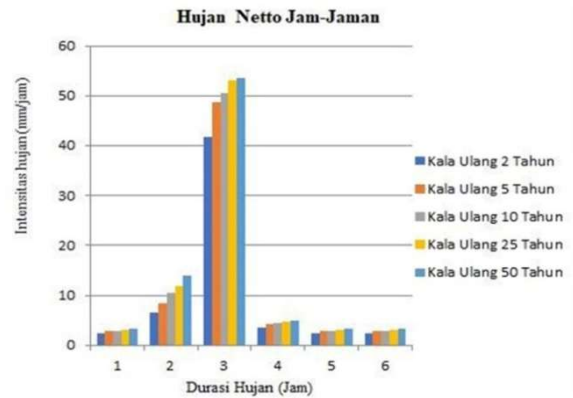
Periode	Xt	CP	Hujan Netto (Rn)
2	218.26	0.249	58.93
5	257.45	0.249	69.51
10	275.69	0.249	74.43
25	293.94	0.249	79.36
50	304.94	0.249	82.33

Persentase distribusi hujan pada DAS Bengkenang selama 6 jam dikonversikan ke 24 jam dengan ketentuan PSA 007, sehingga persentase distribusi hujan selama 6 jam. Kemudian menganalisis distribusi hujan Netto berdasarkan data hujan Netto (R_n) dengan persentase hujan 6 jam (bell shape) sehingga didapatkan distribusi hujan Netto jam-jaman. Berikut kurva hujan Netto jam-jaman dapat dilihat pada **Gambar 2**.

E. DEM (Digital Elevation Model)

Analisis debit banjir rencana menggunakan program HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) dibutuhkan data spasial yang perlu dipersiapkan sebagai data dasar adalah peta DEM (*Digital Elevation Model*). Dalam penelitian ini peta DEM di dapatkan dari website BIG dengan resolusi DEM 8-10

meter. Peta DEM tersebut akan dilakukan deliniasi pada program HEC HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) untuk mendapatkan batas DAS dan catchment area dimana dalam deliniasi ini akan mengikuti pola kontur muka bumi sehingga bentuk dan resolusi DEM akan sangat berpengaruh.



Gambar 2. Kurva hujan Netto jam-jaman

F. Deliniasi DAS

Deliniasi DAS dilakukan dengan multi-basin analisis yaitu dengan membagi DAS utama menjadi beberapa sub-DAS atau Sub Basin Berdasarkan Peta DEM (*Digital Elevation Model*) yang merepresentasikan bentuk muka bumi atau elevasi pada DAS Bengkenang. Kondisi pembagian DAS ini disesuaikan dengan outlet yang akan diteliti pada penelitian ini menggunakan outlet berada pada Sungai Ndelengau sesuai dengan Gambar hasil deliniasi DAS Bengkenang dapat dilihat pada **Gambar 3**.

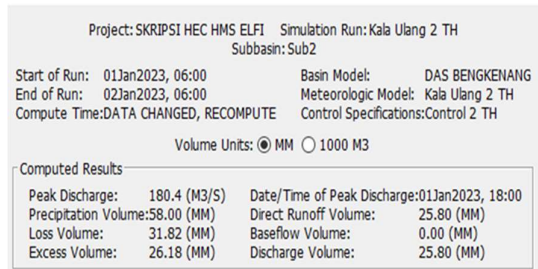


Gambar 3. Deliniasi DAS Bengkenang Dari Model HEC-HMS

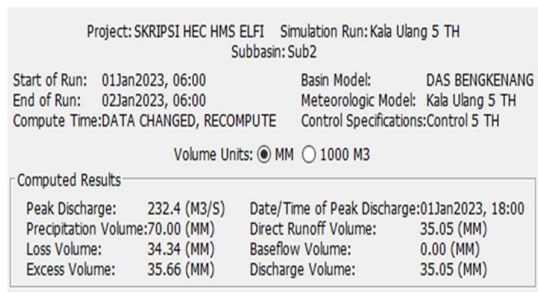
G. Hasil simulasi pemodelan HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*)

Pada hasil Running HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*), proses simulasi *meteorologic model* dengan menggunakan data curah hujan dan *control specification* pada DAS

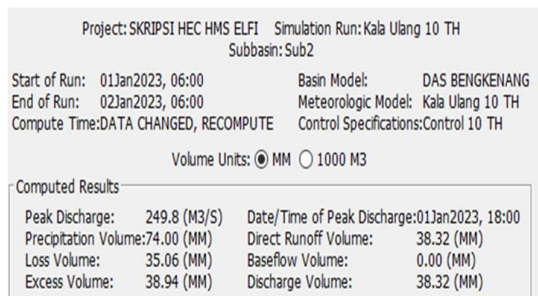
Bengkenang, maka dilakukan proses *simulation run*. Setelah melakukan proses *simulation run* maka hasil debit puncak dan hidrograf dalam kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun pada DAS Bengkenang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



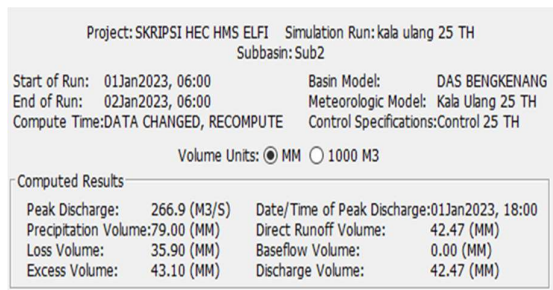
Gambar 4. Hasil *Simulation HEC-HMS* kala ulang 2 tahun



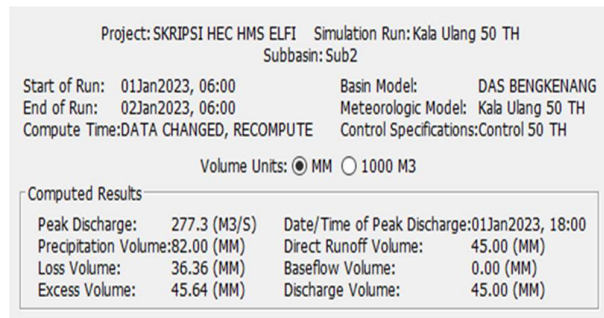
Gambar 5. Hasil *Simulation HEC-HMS* kala ulang 5 tahun



Gambar 6. Hasil *Simulation HEC-HMS* kala ulang 10 tahun



Gambar 7. Hasil *Simulation HEC-HMS* kala ulang 25 tahun



Gambar 8. Hasil *Simulation HEC-HMS* kala ulang 50 tahun

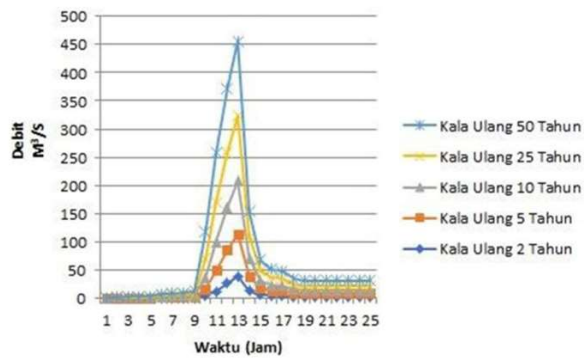
Tabel 8. Hasil Debit Puncak Dan Waktu Puncak

Periode (Tahun)	Debit Puncak (m ³ /det)	Waktu Puncak (Jam ke-)
2	180,4	06,00
5	232,4	06,00
10	249,8	06,00
25	266,9	06,00
50	277,3	06,00

Pada hasil *Running HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System)* diperoleh hasil debit banjir rencana menggunakan data curah hujan rencana dengan kala ulang 2 tahun sebesar 180,4 m³/det, kala ulang 5 tahun sebesar 232,4 m³/det, kala ulang 10 tahun sebesar 249,8 m³/det, kala ulang 25 tahun sebesar 266,9 m³/det, dan kala ulang 50 tahun sebesar 277,3 m³/det. Pada model hidrologi HEC-HMS digunakan dalam kombinasi dengan HEC-HMS dan GIS untuk mengidentifikasi aliran melalui simulasi proses curah hujan. Debit aliran sungai Bengkenang telah disimulasikan dan dibandingkan dengan aliran yang diperoleh dari pengukur debit yang terletak di hilir dengan kalibrasi parameter hidrologi. Hasilnya menunjukkan kesesuaian yang baik antara aliran yang diamati dan disimulasikan.

H. Hidrograf banjir rencana HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) metode SCS (*Soil Conservation Services*) CN (*Curve Number*)

Hidrograf banjir rencana merupakan hasil dari *Running program HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System)* yang ditunjukkan dalam bentuk grafik debit banjir rencana berdasarkan kala ulang, tinggi debit sangat dipengaruhi oleh parameter-parameter pada DAS. Grafik debit banjir rencana dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Grafik Debit Banjir Rencana

Hasil grafik debit banjir rencana dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun menunjukkan hubungan antara frekuensi kejadian banjir dan debit maksimum yang diharapkan, di mana debit semakin tinggi seiring bertambahnya periode ulang. Grafik ini biasanya memperlihatkan kurva yang meningkat secara eksponensial, mencerminkan bahwa kejadian banjir yang lebih jarang memiliki intensitas yang lebih besar. Ini membantu perencana dan pengambil keputusan dalam memahami risiko yang terkait dengan berbagai intensitas banjir, sehingga infrastruktur seperti saluran drainase dan bendungan dapat dirancang untuk menangani kondisi ekstrem. Selain itu, grafik ini juga memungkinkan perbandingan antara debit yang diperkirakan dan data historis, memberikan wawasan tentang keandalan model dan estimasi yang digunakan dalam manajemen sumber daya air dan mitigasi bencana banjir.

Semakin besar kala ulang dalam analisis debit banjir, semakin tinggi debit maksimum yang didapatkan, yang berkaitan langsung dengan curah hujan di Provinsi Bengkulu, memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh iklim tropis dan posisi geografisnya di Pesisir Barat Pulau Sumatra. Wilayah ini mengalami musim hujan antara bulan Oktober hingga bulan April, yang dipengaruhi oleh monsun barat, dengan curah hujan yang tinggi, terutama pada bulan Desember hingga bulan Februari. Secara tahunan, curah hujan di Provinsi Bengkulu berkisar antara 2.000 hingga 3.000 mm, dengan intensitas hujan yang lebih tinggi di daerah pegunungan atau dataran tinggi dibandingkan dengan kawasan pesisir. Meskipun musim kemarau berlangsung antara bulan Mei hingga bulan September, hujan masih bisa terjadi meskipun lebih jarang. Kelembapan udara di Provinsi Bengkulu juga cenderung tinggi sepanjang tahun, yang mendukung tingginya curah hujan di wilayah ini. Dengan memahami hubungan ini, perencana dapat merancang infrastruktur, seperti saluran drainase dan bendungan, yang mampu menangani debit tinggi tersebut,

serta mengembangkan strategi mitigasi yang efektif untuk mengurangi risiko banjir di masa depan. Selain itu, analisis ini juga penting dalam konteks perubahan iklim, di mana pola cuaca yang tidak menentu dapat mempengaruhi frekuensi dan intensitas hujan, sehingga perencanaan yang berbasis data menjadi semakin krusial [13].

Kala ulang yang lebih besar dan debit banjir yang lebih tinggi, mengaitkan peningkatan debit tersebut secara langsung dengan kejadian hujan ekstrem memerlukan analisis yang lebih mendalam dan komprehensif. Debit maksimum yang diperkirakan untuk kala ulang yang lebih besar tidak selalu mencerminkan curah hujan ekstrem, karena beberapa faktor seperti karakteristik tanah, durasi dan intensitas hujan, serta perubahan penggunaan lahan dapat memengaruhi respons hidrologi. Misalnya, tanah yang telah jenuh dapat menyebabkan terjadinya banjir meskipun curah hujan yang terjadi tidak tergolong ekstrem, sementara pola distribusi hujan juga sangat penting dalam menentukan volume debit yang dihasilkan. Selain itu, faktor-faktor terkait perubahan iklim dapat mengubah pola curah hujan dan frekuensi kejadian ekstrem, sehingga analisis historis serta model prediktif harus dipertimbangkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan ini. Oleh karena itu, untuk dapat menyimpulkan bahwa debit yang tinggi mengindikasikan hujan ekstrem, diperlukan pemahaman yang holistik tentang interaksi berbagai faktor yang memengaruhi sistem hidrologi.

Hasil ini konsisten dengan teori hidrologi yang menyatakan bahwa debit banjir cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas dan durasi curah hujan. Hal ini disebabkan oleh kapasitas tanah dan sistem drainase yang mungkin tidak mampu menampung aliran air yang lebih besar.

Studi di wilayah lain, seperti di Sungai Mekong, juga mendukung temuan ini, di mana peningkatan curah hujan akibat perubahan iklim telah menyebabkan peningkatan debit banjir yang signifikan [14].

Dalam mengatasi banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengkenang, pemilihan periode ulang yang tepat sangat krusial untuk merancang infrastruktur dan strategi manajemen risiko. Periode ulang yang lebih pendek, seperti 2 atau 5 tahun, sering direkomendasikan untuk infrastruktur drainase yang menangani banjir lebih sering, sementara periode ulang yang lebih panjang, seperti 25 atau 50 tahun, umumnya digunakan untuk struktur kritis seperti bendungan atau tanggul yang perlu melindungi dari kejadian banjir ekstrem. Rekomendasi ini harus mempertimbangkan faktor-faktor lokal, termasuk sejarah kejadian banjir, pola

curah hujan, dan dampak perubahan iklim. Dengan mengintegrasikan periode ulang yang sesuai dalam perencanaan, strategi manajemen banjir dapat menjadi lebih efektif dan berkelanjutan, sehingga dapat mengurangi risiko banjir secara signifikan di wilayah tersebut. Penelitian di Sungai Mississippi menunjukkan bahwa penggunaan data debit banjir historis sangat penting dalam perencanaan infrastruktur untuk mengurangi kerugian akibat banjir [15].

Meskipun hasil simulasi memberikan gambaran yang jelas, terdapat ketidakpastian yang melekat dalam data curah hujan dan model hidrologi. Faktor-faktor seperti perubahan iklim dan urbanisasi dapat mempengaruhi pola curah hujan dan aliran sungai di masa depan.

Disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas guna memahami bagaimana perubahan parameter model dapat mempengaruhi hasil simulasi. Penelitian di Sungai Yangtze menunjukkan bahwa analisis sensitivitas sangat penting untuk mengidentifikasi parameter yang paling mempengaruhi hasil model [16] [17].

Pengembangan model yang mengintegrasikan data dari berbagai sumber, seperti satelit dan sensor tanah, dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang risiko banjir. Penelitian di Australia menunjukkan bahwa penggunaan data satelit dapat meningkatkan prediksi risiko banjir secara signifikan [18].

Dengan memahami hasil dan implikasi dari simulasi debit banjir ini, kita dapat lebih siap dalam menghadapi tantangan manajemen sumber daya air dan mitigasi risiko banjir di masa depan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyajikan hasil analisis debit banjir rencana dalam bentuk pemodelan hidrograf. Hasil pemodelan hidrograf debit banjir rencana dalam program HEC HMS (*Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System*) berdasarkan data curah hujan rencana yang terpilih menunjukkan bahwa waktu puncak terjadi pada sore hari sekitar pukul 06.00 dengan debit banjir rencana untuk kala ulang 2 tahun sebesar 180,4 m³/det, kala ulang 5 tahun sebesar 232,4 m³/det, kala ulang 10 tahun sebesar 249,8 m³/det, kala ulang 25 tahun sebesar 266,9 m³/det, dan kala ulang 50 tahun sebesar 277,3 m³/det. Hasil analisis hidrologi curah hujan rencana yang memenuhi adalah Metode Log Pearson Tipe III dengan curah hujan rencana sebesar kala ulang 2 tahun 218,26 mm, kala ulang 5 tahun sebesar 257,45 mm, kala ulang 10 tahun sebesar 275,69 mm, kala ulang 25 tahun sebesar 293,94 mm, dan kala ulang 50 tahun sebesar 304,94 mm. Curah hujan Netto kala ulang 2 tahun sebesar 58,93 mm, kala ulang 5 tahun

sebesar 69,51 mm, kala ulang 10 tahun sebesar 74,43 mm, kala ulang 25 tahun sebesar 79,36 mm, dan kala ulang 50 tahun sebesar 82,33 mm.

Analisis ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara kala ulang banjir dan debit maksimum yang diperkirakan. Dengan meningkatnya kala ulang, debit maksimum juga meningkat, yang menunjukkan adanya keterkaitan langsung antara intensitas hujan ekstrem dan frekuensi kejadian banjir. Penemuan ini menekankan pentingnya perencanaan infrastruktur yang adaptif, termasuk saluran drainase dan bendungan, untuk mengatasi risiko banjir yang semakin meningkat, terutama dalam konteks perubahan iklim yang memengaruhi pola curah hujan.

Daftar Pustaka

- [1] Ward, PJ, "Manajemen risiko banjir dan ketahanan banjir: menghubungkan pemodelan risiko banjir dan pertumbuhan sosial ekonomi," *Ilmu Pengetahuan and Kebijakan Lingkungan.*, Vol. 29, Pp. 37–49, 2013.
- [2] Chow, VT, Maidment, DR, & Mays, LW, "Hidrologi Terapan," McGraw-Hill, 1998.
- [3] Dingman, S.L, "Hidrologi Fisik (Edisi ke-3rd)," *Pers Waveland.*, No. 3, Pp. 643, 2015.
- [4] Gunawan, G., "Pemodelan Genangan Banjir Sub Das Bengkulu Hilir Provinsi Bengkulu Menggunakan Program Hec-Ras 5.0.7 Berbasis Ras Mapper dan Arc-GIS 10.8," *Media Komunikasi Teknik Sipil.*, Vol. 29, No. 1, Pp. 84–92, 2023.
- [5] Feldman, AD, "Panduan Pengguna Sistem Pemodelan Hidrologi HEC-HMS," *Korps Insinyur Angkatan Darat AS.*, Vol 11, No. 12, Pp. 4755–4777, 2000.
- [6] Arnold, J.G, and Srinivasan R, "Pemodelan dan penilaian hidrologi area luas," *Jurnal Asosiasi Sumber Daya Air Amerika.*, Vol. 34, No.1, Pp. 73–89, 2022.
- [7] Beven, K, "Pemodelan Curah Hujan-Limpasan:Hal Utama," *John Wiley and Putra.*, Vol. 15, No. 2, 2011.
- [8] D. H. U. Ningsih, "Metode Thiessen Polygon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu," *Stikubank Univ.*, Vol. 17, No. 2, Pp. 154–163, 2017.
- [9] Triatmodjo, B, "*Hidrologi Terapan.*" Cetakan ke. yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta., No. 1, Pp. 351–354, 2008.
- [10] E. Q. Ajr and F. Dwirani, "Menentukan Stasiun Hujan Dan Curah Hujan Dengan Metode Polygon

- Thiessen Daerah Kabupaten Lebak,” *Agustus.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 139–146, 2019.
- [11] Hoogestraat, GK Hidrologi Banjir dan Analisis Hidrolika Jebolnya Bendungan di Empat Waduk di Black Hills, South Dakota; Laporan Investigasi Ilmiah Survei Geologi AS 2011–5011; Survei Geologi AS: Reston, VA, AS, 2011; hlm. 37.
- [12] Nurdiyanto, “Analisis Hujan dan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan di Sub DAS Pekalen Kabupaten Porbolinggo, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang,” 2016.
- [13] Wijaya, T., and Wijayanti, Y, “Flood Mapping Using HEC-RAS and HEC-HMS: A Case Study of Upper Citarum River at Dayeuhkolot District, Bandung Regency, West Java,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, Pp.1324, 2024.
- [14] K. Christian, D. Yudianto, and S. R. Rusli, “*Analisis Pola Distribusi Hujan Terhadap Perhitungan Debit Banjir Das Cikapundung Hulu*,” repository.unpar.ac.id, [Online], 2017.
- [15] Ansori, M.B, “Flood Hydrograph Analysis Using Synthetic Unit Hydrograph, Hec-Hms, And Hec-Ras 2d Unsteady Flow Precipitation On-Grid Model For Disaster Risk Mitigation,” *International Journal of GEOMATE.*, Vol. 14, No. 2, Pp. 575–81, 2023.
- [16] Ramli, S., Ibrahim, S.N., and Eryani, G.A, “Flood Discharge For Ungauged Catchment At Teriang River, Pahang By Using HEC-HMS,” *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology.*, Vol. 33, No. 3, Pp. 39–50, 2023.
- [17] Cahyono, C, and Juliastuti, “Study of Modeling Method Selection in Flood Discharge Calibration Using HEC-HMS,” *Software. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, Pp. 794, 2021.
- [18] El-Bagoury, H., and Gad, A.K., “Integrated Hydrological Modeling for Watershed Analysis, Flood Prediction, and Mitigation Using Meteorological and Morphometric Data, SCS-CN, HEC-HMS/RAS, and QGIS,” *Water.*, Vol. 16, No. 2, Pp. 356, 2024.