

# Pemodelan Hidrologi-Hidrodinamika 2D untuk Karakterisasi Genangan dan Bahaya Banjir Perkotaan di DAS Ampal, Balikpapan

Noor Zaqiyah Muhding<sup>1</sup>, Umboro Lasminto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya  
[zaqiyahnoor@email.com](mailto:zaqiyahnoor@email.com)

## Abstract

Flooding is a dominant hydrometeorological hazard in urban areas of Indonesia, including Balikpapan City as a strategic buffer zone for the Nusantara Capital City (IKN). This study aims to evaluate the performance of an integrated 2D hydrological–hydrodynamic model in representing the flood event of March 7, 2025, and to simulate flood inundation distribution and hazard levels based on inundation depth in the Ampal Watershed. The methodology employed hydrological modeling using HEC-HMS and two-dimensional hydrodynamic modeling using HEC-RAS 2D with an unsteady flow scheme. Calibration results indicate good model performance, with a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.082 m, indicating low model error, and a Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) of 0.865, indicating good model performance. The model showed good agreement in representing the analyzed flood event. Simulation results indicate that inundation was concentrated along the Klandasan Besar River, with the maximum inundation depth identified in the Beller residential area. Flood hazard classification based on inundation depth shows that the very high hazard class (>0.50 m) covered 48.81 ha, while safe areas (<0.10 m) covered 92.04 ha and were generally located at higher elevations. The inundation pattern indicates concentrated overflow in low-lying and sink areas along the Klandasan Besar River corridor due to limited channel capacity, channel constriction (bottleneck), dominance of impervious surfaces, and backwater effects in downstream areas. The results of this study can support flood hazard mapping and urban flood mitigation planning in Balikpapan City.

**Keywords:** Ampal Watershed, Urban Flooding, HEC-HMS, HEC-RAS 2D, Flood Hazard

## Abstrak

Banjir merupakan bencana hidrometeorologi dominan di kawasan perkotaan Indonesia, termasuk Kota Balikpapan sebagai wilayah penyangga strategis Ibu Kota Nusantara (IKN). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja pemodelan hidrologi–hidrodinamika 2D terintegrasi dalam merepresentasikan kejadian banjir aktual 7 Maret 2025, serta mensimulasikan dan mengkarakterisasi sebaran genangan dan tingkat bahaya banjir berbasis kedalaman genangan di DAS Ampal. Metode yang digunakan meliputi pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS dan pemodelan hidrodinamika dua dimensi (2D) menggunakan HEC-RAS 2D dengan skema *unsteady flow* untuk mensimulasikan kejadian banjir ekstrem pada 7 Maret 2025. Hasil kalibrasi menunjukkan performa model yang baik dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,082 m yang menunjukkan tingkat kesalahan model rendah serta *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,865 yang menunjukkan performa model yang baik, sehingga model terintegrasi hidrologi–hidrodinamika 2D menunjukkan performa yang baik dalam merepresentasikan kejadian banjir yang dikaji. Simulasi menunjukkan bahwa genangan terkonsentrasi di sepanjang Sungai Klandasan Besar dengan kedalaman maksimum teridentifikasi pada kawasan permukiman Beller. Klasifikasi bahaya banjir berbasis kedalaman genangan menunjukkan bahwa kelas bahaya sangat tinggi (>0,50 m) mencakup luasan 48,81 ha, sedangkan area aman (<0,10 m) mencakup wilayah seluas 92,04 ha yang umumnya berada pada elevasi lebih tinggi. Pola genangan menunjukkan konsentrasi luapan pada dataran rendah dan area cekungan (*sink area*) di sepanjang koridor Sungai Klandasan Besar akibat keterbatasan kapasitas saluran, penyempitan penampang (*bottleneck*), tingginya dominasi permukaan kedap air (*impervious area*), serta pengaruh *backwater* di wilayah hilir. Hasil penelitian ini mendukung penyusunan peta bahaya banjir dan perencanaan mitigasi banjir perkotaan di Kota Balikpapan.

**Kata Kunci:** DAS Ampal, Banjir Perkotaan, HEC-HMS, HEC-RAS 2D, Bahaya Banjir

## PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang dominan di kawasan perkotaan Indonesia. Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa banjir mendominasi kejadian bencana nasional tahun 2025 dengan proporsi 37,11% atau sekitar 2.100 kejadian (BNPB, 2025). Pada skala lokal, Kota Balikpapan sebagai wilayah penyangga strategis Ibu Kota Nusantara (IKN) menunjukkan peningkatan bahaya banjir yang signifikan. Hal ini tercermin dari bertambahnya jumlah titik banjir dari 30 lokasi pada tahun 2019 menjadi 88 lokasi pada tahun 2020 (Pemerintah Kota Balikpapan, 2021). Salah satu wilayah yang paling terdampak adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Ampal yang melintasi

kawasan pusat aktivitas perkotaan. Tingginya tekanan urbanisasi di wilayah tersebut berpotensi meningkatkan limpasan permukaan dan melampaui kapasitas sistem drainase, sehingga memperbesar risiko terjadinya banjir (Yanti dkk., 2021).

Sejumlah studi telah dilakukan untuk mengkaji fenomena banjir di DAS Ampal melalui berbagai perspektif, namun masih menyisakan kesenjangan kritis dalam literatur lokal. Identifikasi faktor pemicu banjir di wilayah ini sebelumnya hanya dianalisis melalui pendekatan kualitatif tanpa melibatkan pemodelan hidrologi maupun hidrodinamika (Awaliyah dkk., 2020). Evaluasi kapasitas saluran menggunakan perangkat lunak HEC-RAS juga telah dilakukan, namun terbatas pada analisis satu dimensi (1D) dan belum menggunakan data

kejadian aktual sebagai instrumen validasi model (Yanti dkk., 2019). Lebih lanjut, meskipun dinamika perubahan tutupan lahan terbukti meningkatkan debit limpasan, korelasi antara volume tersebut dengan parameter fisik genangan belum diintegrasikan secara komprehensif, sehingga belum mampu menghasilkan klasifikasi tingkat bahaya banjir yang spesifik (Muhding dan Lasminto, 2026).

Secara global, efektivitas mitigasi banjir sangat bergantung pada akurasi integrasi pemodelan dalam mensimulasikan kejadian ekstrem. Penggunaan model HEC-HMS yang dikopel dengan HEC-RAS 2D terbukti lebih andal dalam memetakan profil kedalaman genangan dibandingkan metode konvensional (Abdessamed et al., 2019). Integrasi ini memungkinkan identifikasi zona bahaya yang lebih presisi berdasarkan parameter kedalaman air sebagai dasar penentuan risiko (AL-Hussein et al., 2022). Selain itu, penerapan metode *unsteady flow* dengan pendekatan *precipitation on-grid (rain-on-grid)* menjadi solusi teknis penting untuk memvalidasi akumulasi air hujan secara langsung pada wilayah dengan topografi kompleks (Ansori et al., 2023).

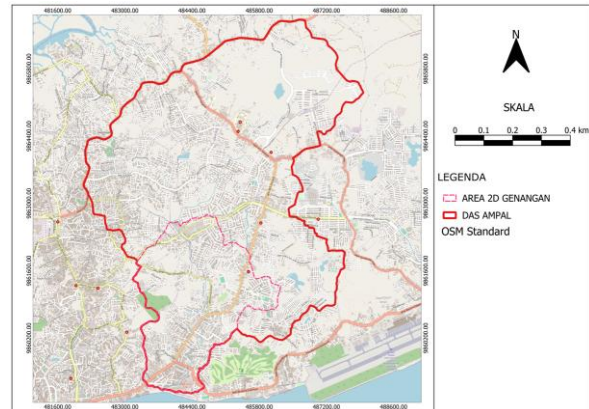
Meskipun integrasi HEC-HMS dan HEC-RAS telah diinisiasi pada beberapa studi banjir di Indonesia, penelitian tersebut umumnya masih terbatas pada simulasi genangan dan belum menghasilkan peta bahaya berbasis kedalaman genangan (Pratiwi dan Santoso, 2021). Ketiadaan validasi menggunakan data lapangan pada kejadian aktual tetap menjadi batasan utama dalam memastikan keandalan model (Peker et al., 2024). Guna menjawab keterbatasan tersebut, penelitian ini membandingkan integrasi model HEC-HMS dan HEC-RAS 2D dengan validasi empiris pada kejadian banjir aktual 7 Maret 2025. Peristiwa ekstrem tersebut mencatat kedalaman genangan hingga 60–140 cm yang melumpuhkan aktivitas pusat kota selama enam jam (BPBD Balikpapan, 2025). Fokus utama penelitian ini adalah menghasilkan karakterisasi genangan dan peta bahaya banjir berbasis kedalaman di DAS Ampal sebagai landasan strategi mitigasi yang tepat sasaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja pemodelan hidrologi–hidrodinamika 2D terintegrasi dalam merepresentasikan kejadian banjir aktual 7 Maret 2025, serta mensimulasikan dan mengkarakterisasi sebaran genangan dan tingkat bahaya banjir berbasis kedalaman genangan di DAS Ampal. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan landasan saintifik dalam penyusunan peta bahaya banjir yang representatif bagi kawasan perkotaan dengan dinamika pertumbuhan yang pesat.

## METODE

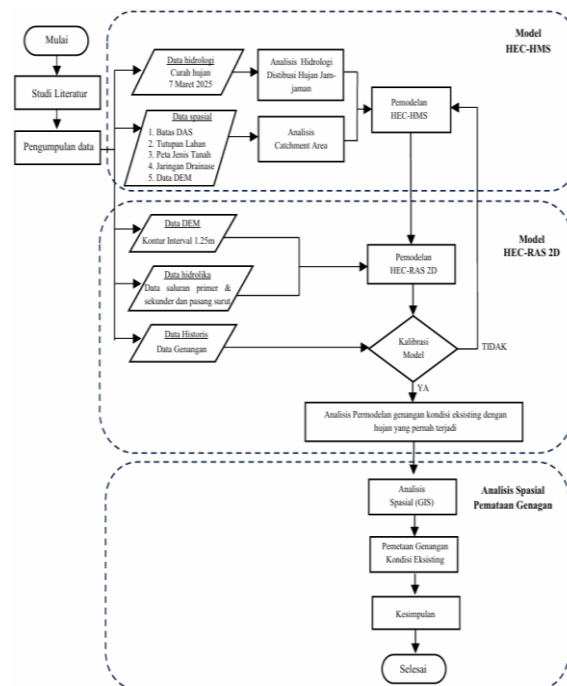
Penelitian ini difokuskan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Ampal di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur (1°16'27,85" LS; 116°51'15,72" BT). Memiliki luas cakupan sebesar 2.691 ha, DAS ini dialiri oleh Sungai Klandasan Besar sepanjang ±4,69 km yang berfungsi sebagai arteri utama sistem drainase perkotaan. Secara administratif, wilayah studi melintasi empat kecamatan inti, yaitu Balikpapan Utara, Tengah, Selatan, dan Balikpapan Kota, dengan batas hilir bersinggungan langsung dengan

Selat Makassar di sisi selatan. Karakteristik topografi DAS Ampal didominasi oleh morfologi berbukit, di mana 60,9% wilayah berada pada elevasi di atas 20 m dpl, sedangkan zona dataran rendah terakumulasi di sepanjang koridor sungai dan kawasan pesisir (BPS Kota Balikpapan, 2026). Dominasi area terbangun dengan permukaan kedap air (*impervious surface*) yang masif menjadi parameter krusial yang berkontribusi terhadap peningkatan koefisien limpasan permukaan, sehingga memicu peningkatan risiko banjir di pusat kota. Konfigurasi geomorfologi dan cakupan spasial wilayah penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

Metode penelitian ini disusun secara sistematis melalui tahapan pengumpulan dan pengolahan data, pemodelan hidrologi menggunakan HEC-HMS, pemodelan hidrodinamika menggunakan HEC-RAS 2D, serta analisis bahaya genangan berbasis kedalaman. Alur keseluruhan penelitian disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Distribusi Curah Hujan

Distribusi hujan jam-jaman dilakukan untuk membagi curah hujan harian maksimum ke dalam interval waktu yang lebih pendek guna mengidentifikasi pola intensitas hujan selama durasi tertentu. Analisis ini krusial dalam pemodelan banjir karena debit puncak lebih dipengaruhi oleh intensitas hujan sesaat dibandingkan total akumulasi harian (Triatmodjo, 2008).

Dalam penelitian ini, distribusi hujan jam-jaman diturunkan menggunakan metode Mononobe untuk mengonversi curah hujan harian (24 jam) menjadi hujan berdurasi pendek sebagai input dalam pemodelan hidrologi-hidrodinamika 2D. Intensitas hujan rata-rata hingga jam ke- $t$  dihitung menggunakan Persamaan 1 dan curah hujan pada jam ke- $t$  diperoleh dari selisih hujan kumulatif menggunakan Persamaan 2.

$$R_t = \frac{R_{24}}{T} \times \left(\frac{T}{t}\right)^m \quad (1)$$

$$R'_t = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{t-1} \quad (2)$$

dengan:

- $R_t$  = intensitas rata-rata hujan jam ke- $t$  (mm/jam),
- $R_{24}$  = hujan harian maksimum 24 jam (mm),
- $m$  = ketetapan sesuai kondisi tangkapan,
- $T$  = lama waktu hujan terpusat (jam),
- $t$  = waktu lamanya hujan (jam),
- $R'_t$  = curah hujan pada jam ke- $t$  (mm).

Berdasarkan catatan kejadian, hujan berlangsung sekitar 6 jam, sehingga data harian didistribusikan menjadi intensitas hujan jam-jaman menggunakan metode Mononobe dengan durasi yang mencerminkan kondisi aktual. Pemilihan durasi ini juga sesuai dengan karakteristik hujan lebat berdurasi pendek-menengah di wilayah tropis dan representatif untuk analisis limpasan pada DAS perkotaan berskala kecil hingga menengah seperti DAS Ampal. Distribusi tersebut digunakan sebagai input pemodelan hidrologi, sedangkan dokumentasi kejadian banjir disajikan pada Gambar 3 sebagai representasi kondisi lapangan.



Gambar 3. Kondisi Genangan Banjir Di DAS Ampal pada Tanggal 7 Maret 2025 (Citra Udara)  
Sumber: Balikpapanfolks (2025)

Curah hujan yang digunakan merepresentasikan kejadian 7 Maret 2025 dengan total 122,3 mm yang diperoleh dari Pos Hujan Stasiun Meteorologi Balikpapan

(1,2667° LS; 116,9000° BT) (Dinas PUPR Kota Balikpapan, 2025). Nilai dan pola distribusi hujan Mononobe selama 6 jam disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4, menunjukkan intensitas puncak sebesar 67,30 mm (55,03%) pada jam pertama yang kemudian menurun hingga 7,21 mm (5,90%) pada jam keenam, mencerminkan karakter *front-loaded rainfall*. Secara hidrologis, dominasi intensitas pada fase awal meningkatkan proporsi hujan efektif terhadap infiltrasi, sehingga mempercepat pembentukan limpasan permukaan dan mempersingkat waktu menuju debit puncak. Respons ini menghasilkan hidrograf yang curam (*flashy response*), yang umum terjadi pada DAS perkotaan. Pada DAS Ampal, dominasi area terbangun dengan tingkat kedap air tinggi membatasi infiltrasi dan retensi, sehingga hujan awal sebagian besar terkonversi menjadi aliran permukaan. Keterbatasan kapasitas sistem drainase dalam menampung lonjakan aliran pada fase awal semakin memperbesar akumulasi aliran di bagian hilir. Kombinasi pola hujan yang terpusat di awal dan karakteristik fisik DAS tersebut berkontribusi terhadap percepatan debit puncak serta peningkatan potensi genangan dan banjir di kawasan studi.

Tabel 1. Perhitungan Distribusi Hujan 6 Jam 7 Maret 2025

Jam ke t	Persentase Hujan Jam ke-t	7 Maret 2025
1	55,03%	67,30
2	14,30%	17,49
3	10,03%	12,27
4	7,99%	9,77
5	6,75%	8,25
6	5,90%	7,21
Jumlah	100%	122,30

Sumber : Hasil Analisis, 2026

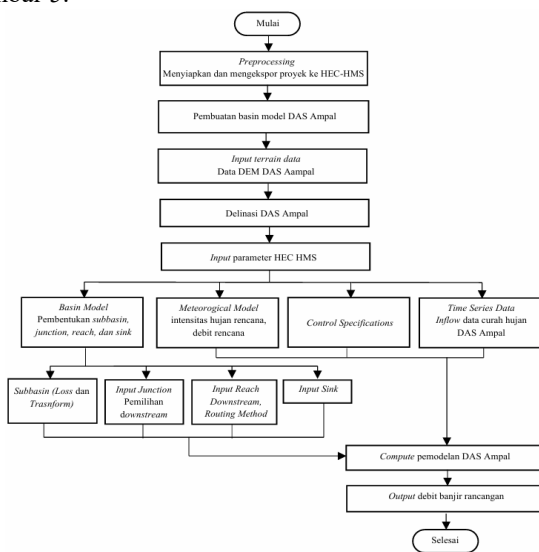


Gambar 4. Hasil Distribusi Hujan 6 Jam  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Pemodelan HEC HMS

Pemodelan hidrologi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan HEC-HMS melalui tahapan penyusunan *basin model*, deliniasi DAS berbasis data DEM, serta penentuan parameter hidrologi, meteorologi, dan kontrol simulasi. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan dalam proses komputasi untuk menghasilkan

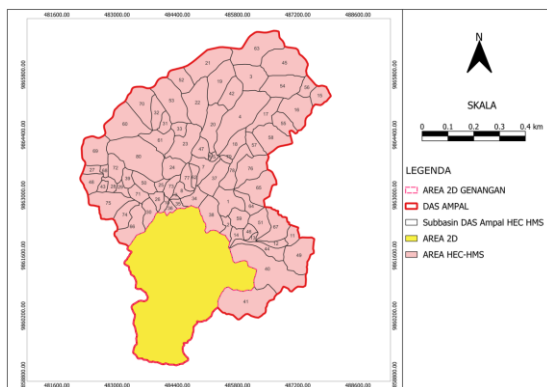
debit banjir. Diagram alir pemodelan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir HEC-HMS  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Analisis Pemodelan HEC-HMS

DAS Ampal dideliniasi menjadi 80 sub-DAS untuk merepresentasikan karakteristik hidrologi secara lebih rinci dalam pemodelan hujan-aliran. Pemodelan HEC-HMS diterapkan pada area di luar domain genangan 2D untuk menghasilkan *flow hydrograph* sebagai kondisi batas hulu pada model HEC-RAS 2D, sehingga merepresentasikan kontribusi limpasan dari sub-DAS hulu ke dalam domain hidrodinamika. Pembagian sub-DAS disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sub-DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

#### a. Parameter Fisik DAS Ampal

Parameter fisik berupa luas sub-DAS dan kemiringan lahan rata-rata diturunkan dari *Digital Elevation Model* (DEM) yang dibangun melalui interpolasi data kontur *masterplan* Kota Balikpapan dengan interval vertikal 1,25 m. Proses interpolasi menghasilkan DEM beresolusi  $0,5 \times 0,5$  m yang digunakan untuk merepresentasikan topografi sungai dan dataran banjir dalam pemodelan hidraulika HEC-RAS 2D.

#### b. Perhitungan *Curve Number* (CN)

Nilai *Curve Number* (CN) di DAS Ampal ditentukan berdasarkan kombinasi *Hydrologic Soil Group* (HSG) dan *Land Use/Land Cover* (LULC) dengan mengacu pada standar SCS-CN USDA serta Muhding dan Lasminto (2026). Nilai CN yang relatif tinggi pada area tidak terbangun menunjukkan dominasi lahan terbuka padat dengan kapasitas infiltrasi rendah sehingga menghasilkan limpasan permukaan yang lebih besar. Rentang nilai CN yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rentang Nilai CN DAS Ampal

No	Keterangan	Luas Area (km <sup>2</sup> )	CN
1	Lahan Terbangun	9,172	79–84
2	Area Tidak Terbangun	2,483	90–92
3	Hutan	2,272	70–77
4	Perkebunan	7,957	82–86
5	Transportasi	4,350	98
6	Badan Air	0,384	100
	Jumlah	26,62	

Sumber : Hasil Analisis, 2026

#### c. % *Impervious Subbasin* DAS Ampal

Parameter *Impervious* merepresentasikan proporsi permukaan kedap air yang memengaruhi volume limpasan permukaan secara langsung. Pada penelitian ini, nilai persentase kedap air ditentukan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan kawasan perkotaan sebagaimana disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Nilai % *Impervious* DAS Ampal

Keterangan	% Imp
Badan Air	100
Hutan	0
Perkebunan	0
Lahan Terbangun Permukiman	65
Jalan	100
Area Tidak Terbangun	0

Sumber : Hasil Analisis, 2026

#### d. *Time Lag* Sub-DAS Ampal

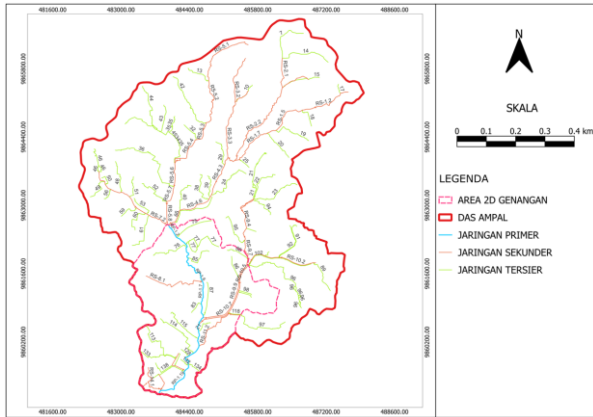
Nilai *time lag* pada subbasin DAS Ampal yang relatif kecil (0,68–26,08 menit) mencerminkan karakter DAS perkotaan dengan dominasi area kedap air dan skala subbasin yang kecil, sehingga mempercepat waktu tempuh aliran menuju outlet. Kondisi ini sejalan dengan konsep hidrologi perkotaan, di mana tingginya *impervious area* dan perkembangan jaringan drainase menghasilkan respons limpasan yang cepat (*flashy response*).

#### e. *SubBasin Model* HEC-HMS

Proses penginputan model subbasin meliputi penentuan luas subbasin, pemilihan metode kehilangan (*loss method*) menggunakan *SCS Curve Number*, serta metode transformasi (*transform method*) menggunakan *SCS Unit Hydrograph* beserta parameter terkait lainnya. Prosedur yang sama diterapkan pada seluruh sub-DAS dalam model HEC-HMS.

**f. Reach DAS Ampal**

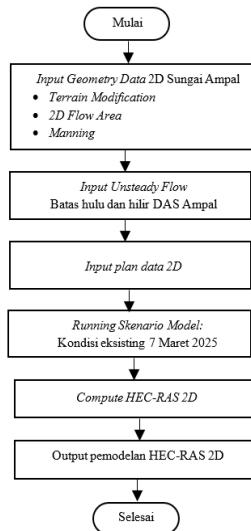
Parameter hidrologi *reach* ditetapkan berdasarkan karakteristik saluran yang diperoleh dari observasi lapangan dan data jaringan drainase DAS Ampal yang bersumber dari Dinas PUPR Kota Balikpapan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Jaringan Drainase DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

**Pemodelan HEC-RAS 2D**

Pemodelan hidrodinamika 2D dilakukan menggunakan HEC-RAS 2D untuk mensimulasikan karakteristik aliran dan genangan pada DAS Ampal. Tahapan pemodelan meliputi input data geometri, penentuan kondisi *unsteady flow*, penyusunan rencana simulasi, hingga proses komputasi model untuk menghasilkan output genangan. Alur pemodelan HEC-RAS 2D disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

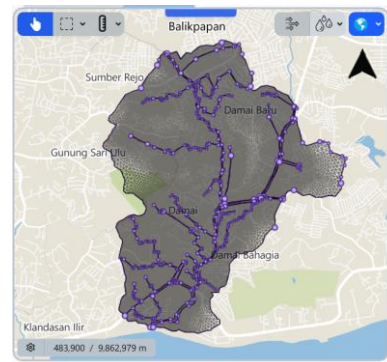
**Analisis Pemodelan HEC-RAS 2D**

Pemodelan HEC-RAS 2D diterapkan untuk mensimulasikan dinamika aliran dan sebaran genangan banjir secara spasial, dengan pendekatan dua dimensi yang

mampu merepresentasikan interaksi aliran dengan topografi secara lebih realistis.

**a. Geometry HEC-RAS 2D**

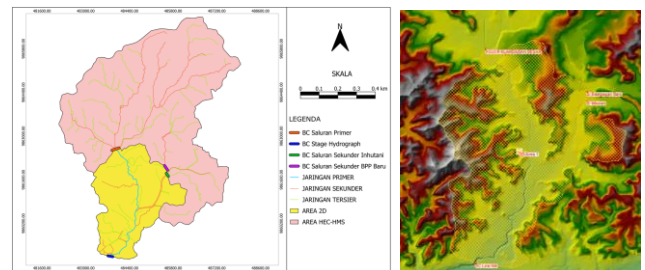
Mesh 2D dibentuk menggunakan RAS Alpha 2025 dengan resolusi yang dirancang untuk merepresentasikan fitur hidraulik utama, termasuk alur sungai dan area genangan kritis. Kualitas dan resolusi mesh berpengaruh signifikan terhadap akurasi simulasi dalam menggambarkan pola aliran, elevasi muka air, dan distribusi genangan (Brunner, 2023), sehingga konfigurasi mesh dioptimalkan untuk menjaga keseimbangan antara ketelitian spasial dan stabilitas numerik. Mesh terdiri dari elemen segitiga dan persegi dengan total 300.120 sel pada domain. Penerapannya difokuskan pada area dataran banjir di DAS Ampal yang diidentifikasi berdasarkan data kejadian banjir, sehingga merepresentasikan kontribusi limpasan lokal pada domain 2D yang ditunjukkan oleh area berwarna kuning pada DAS Ampal sesuai pada Gambar 6. Pembentukan geometri model disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Domain HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

**b. Unsteady Flow HEC-RAS 2D**

Pemodelan aliran dilakukan menggunakan skema *unsteady flow* pada HEC-RAS 2D dengan penerapan *boundary condition* yang mengintegrasikan debit hulu berupa *flow hydrograph*, area 2D menggunakan *rain-on-grid*, dan kondisi batas hilir menggunakan *Steady Stage*. Batasan ini sesuai dengan Gambar 10.

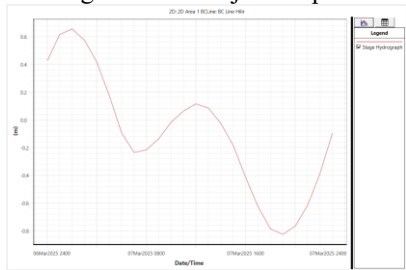


Gambar 10. Boundary Condition HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

Integrasi model HEC-HMS dan HEC-RAS 2D dilakukan melalui pemisahan domain spasial untuk menghindari perhitungan ganda limpasan (*double counting runoff*). Debit hasil analisis hidrologi HEC-HMS

didefinisikan sebagai kondisi batas hulu melalui mekanisme *Flow Hydrograph* yang merepresentasikan fluktuasi debit kejadian hujan 7 Maret 2025 secara dinamis pada saluran primer, saluran sekunder BPP Baru, serta saluran sekunder Inhutani sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15. Wilayah tangkapan yang telah dimodelkan dalam HEC-HMS dipisahkan secara tegas dari domain *Rain on Grid* pada HEC-RAS 2D yang diterapkan pada sel-sel grid di dataran banjir DAS Ampal. Pendekatan *Rain on Grid* menggunakan distribusi hujan durasi 6 jam berdasarkan metode Mononobe sebagaimana disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4 untuk merepresentasikan kontribusi limpasan lokal pada area yang tidak tercakup dalam model HEC-HMS. Dengan skema ini, setiap unit area hanya berkontribusi melalui satu jalur input, sehingga integritas volume air dalam domain model tetap terjaga.

Dinamika aliran dalam skema *unsteady flow* dikendalikan oleh kondisi batas hilir berupa *stage hydrograph* yang diturunkan dari data pasang surut stasiun Badan Informasi Geospasial pada koordinat  $-1,275957^{\circ}$  LS dan  $116,853673^{\circ}$  BT. Kondisi batas ini merepresentasikan fluktuasi muka air laut selama 7 Maret 2025 pukul 00.00–23.00 WITA sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. *Stage Hydrograph* HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Kalibrasi Model

Evaluasi kesesuaian antara hasil simulasi dan data pengamatan dilakukan menggunakan beberapa indikator statistik, seperti *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE). Nilai RMSE dinyatakan dalam satuan meter (m) sesuai dengan variabel kedalaman genangan, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan tingkat kesalahan model yang lebih rendah. Metode RMSE dapat menggunakan Persamaan 3. Sedangkan Nilai NSE berkisar antara  $-\infty$  hingga 1, di mana nilai yang mendekati 1 menunjukkan tingkat kesesuaian yang semakin baik antara hasil simulasi dan observasi. Persamaan NSE dapat dihitung dengan Persamaan 4 dan klasifikasi nilai NSE disajikan pada Tabel 4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2} \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \quad (4)$$

dengan:

$Y_i^{obs}$  = kedalaman genangan observasi (m)

$Y_i^{sim}$  = kedalaman genangan simulasi (m)

$Y_i^{mean}$  = rata-rata kedalaman observasi (m)

$n$  = jumlah data pengamatan

Tabel 4. Nilai *Nash & Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Nilai	Keterangan
$NSE > 0,75$	Baik
$0,36 < NSE < 0,75$	Memuaskan
$NSE < 0,36$	Tidak Memuaskan

Sumber: *Motovilov et al* (1999)

### Parameter Kalibrasi HEC-RAS 2D

Proses pemodelan hidrodinamika dalam penelitian ini mengintegrasikan beberapa parameter biofisik DAS untuk menjamin akurasi representasi aliran dan genangan. Karakteristik infiltrasi pada domain 2D didefinisikan menggunakan metode *SCS Curve Number* (CN) dengan mempertimbangkan variasi tutupan lahan sebagaimana dirinci pada Tabel 2. Parameter pendukung lainnya mencakup *abstraction ratio* sebesar 0,2 serta *minimum infiltration rate* pada rentang 0–0,025 mm/jam. Selain aspek hidrologi, koefisien kekasaran Manning ditentukan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan dengan mengacu pada nilai empiris Manning menurut Chow (1959) dan *Hydraulic Reference Manual* HEC-RAS sebagai rentang awal (*initial range*), yang kemudian dioptimasi melalui kalibrasi iteratif. Nilai Manning yang relatif tinggi pada tutupan hutan dan perkebunan merepresentasikan hambatan aliran akibat vegetasi rapat dan kekasaran permukaan yang tinggi. Klasifikasi tutupan lahan pada domain pemodelan yang disajikan pada Tabel 5. Kalibrasi model dilakukan melalui penyesuaian parameter secara iteratif hingga mencapai konvergensi yang optimal antara hasil simulasi dan data observasi lapangan. Parameter kunci yang dievaluasi mencakup CN, *minimum infiltration rate*, koefisien *Manning*, dan metode distribusi curah hujan. Proses ini bertujuan untuk memvalidasi kesesuaian model terhadap kondisi aktual DAS Ampal.

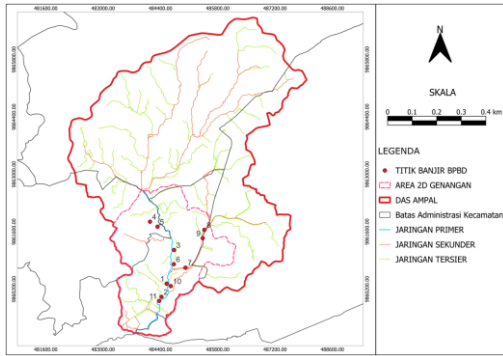
Tabel 5. Parameter *Manning* HEC-RAS 2D

ID	Name	Initial Range	Manning	Percent Impervious
1	Lahan Terbangun Permukiman	0,040–0,070	0,05	65
2	Hutan	0,100–0,200	0,16	0
3	Area Tidak Terbangun	0,030–0,050	0,04	0
4	Perkebunan	0,070–0,160	0,12	0
5	Jalan	0,013–0,015	0,013	100
6	Badan Air	0,025–0,040	0,035	100

Sumber : Hasil Analisis, 2026

### Titik Kalibrasi model HEC-RAS 2D

Kalibrasi model dilakukan menggunakan data historis kejadian banjir dan data lapangan dari BPBD Kota Balikpapan serta BWS Kalimantan IV Samarinda yang diperoleh melalui observasi langsung tinggi genangan saat kejadian banjir 7 Maret 2025. Sebaran titik kalibrasi disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Peta Titik Kalibrasi Model HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

**Klasifikasi Bahaya Banjir**

Pemetaan bahaya banjir dilakukan dengan mengklasifikasikan kedalaman genangan hasil simulasi dan memetakan distribusinya secara spasial menggunakan QGIS. Klasifikasi mengacu pada Permen PU No. 12/PRT/M/2014 sebagaimana disajikan pada Tabel 6. Dalam studi ini, bahaya banjir direpresentasikan sebagai bahaya berbasis kedalaman genangan, parameter lain seperti kecepatan aliran, durasi genangan, dan dampak terhadap elemen berisiko tidak dimasukkan, sehingga interpretasi hasil difokuskan pada kedalaman sebagai indikator utama tingkat bahaya.

Tabel 6. Kriteria Parameter Genangan

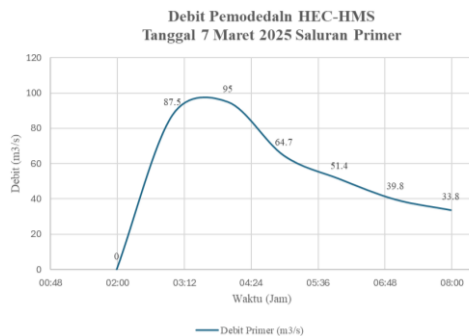
Value	Kedalaman	Keterangan
0	< 0,10 m	Aman
25	0,10 m ≤ 0,20 m	Rendah
50	0,20 m ≤ 0,30 m	Sedang
75	0,30 m ≤ 0,50 m	Tinggi
100	> 0,50 m	Sangat Tinggi

Sumber : Permen PU No. 12/PRT/M/2014

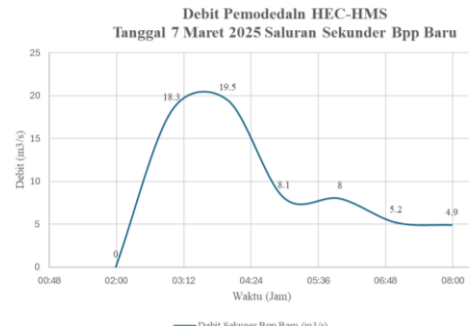
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Debit Rencana Pemodelan HEC HMS**

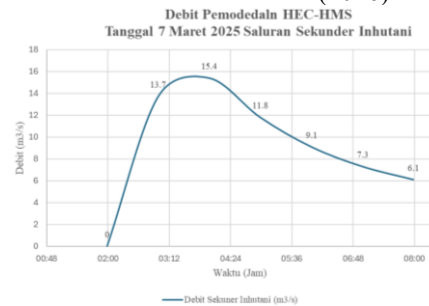
Debit hasil simulasi berbasis hujan kejadian 7 Maret 2025 selanjutnya dianalisis pada tiga titik pengamatan, yaitu pada saluran primer yang disajikan pada Gambar 13, saluran BPP Baru Gambar 14, dan saluran sekunder Inhutani Gambar 15.



Gambar 13. Hidrograf Debit Hasil Simulasi HEC-HMS pada Saluran Primer DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)



Gambar 14. Hidrograf Debit Hasil Simulasi HEC-HMS pada Saluran Sekunder BPP Baru DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)



Gambar 15. Hidrograf Debit Hasil Simulasi HEC-HMS pada Saluran Sekunder Inhutani DAS Ampal  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

Pola distribusi hujan yang terpusat pada jam awal (*front-loaded rainfall*) menyebabkan sebagian besar hujan efektif terjadi dalam waktu singkat, sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan debit puncak. Kondisi ini umum terjadi pada DAS perkotaan dengan dominasi area kedap air seperti DAS Ampal yang memiliki kapasitas infiltrasi dan retensi relatif rendah. Hasil simulasi hidrograf menggunakan HEC-HMS menunjukkan variasi respons hidrologi pada tiga titik pengamatan di DAS Ampal. Pada saluran primer, debit puncak mencapai 95 m<sup>3</sup>/s, sedangkan pada saluran sekunder BPP Baru dan Inhutani masing-masing sebesar 19,5 m<sup>3</sup>/s dan 15,4 m<sup>3</sup>/s. Perbedaan besaran debit ini mencerminkan variasi luas daerah tangkapan dan karakteristik fisik sub-DAS, di mana saluran primer menerima kontribusi limpasan dari area yang lebih luas dibandingkan saluran sekunder.

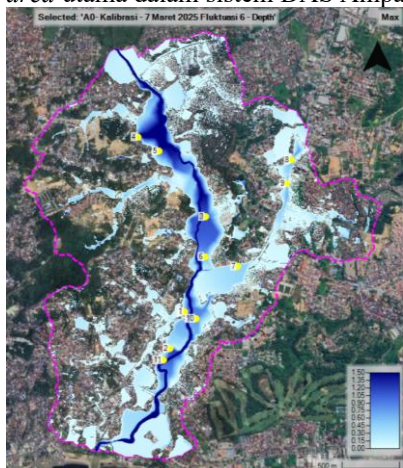
Secara hidrologis, besarnya debit puncak dipengaruhi oleh nilai *Curve Number (CN)* yang tinggi, dominasi area kedap air, kemiringan lahan yang bervariasi, serta nilai *time lag* yang rendah, sehingga menghasilkan respons aliran yang cepat (*flashy hydrograph*). Pada saluran sekunder, debit yang lebih rendah menunjukkan skala tangkapan yang lebih kecil, meskipun tetap memperlihatkan karakteristik respons cepat akibat kondisi urban yang serupa. Pola penurunan debit yang lebih landai pada ketiga lokasi mengindikasikan adanya pengaruh penyimpanan aliran dalam sistem saluran dan kontribusi aliran antar-*subcatchment*.

Meskipun demikian, debit hasil simulasi ini belum dikalibrasi terhadap data debit observasi karena keterbatasan data terukur di lapangan. Oleh karena itu,

luaran HEC-HMS diposisikan sebagai input boundary condition bagi pemodelan hidrodinamika untuk memetakan distribusi genangan secara spasial. Dengan demikian, interpretasi debit difokuskan pada representasi relatif dari respons hidrologi sistem terhadap curah hujan rencana.

### Hasil Pemodelan Genangan 2D

Simulasi hidrodinamika menggunakan pendekatan *diffusion wave* dengan interval komputasi 1 detik mampu merepresentasikan pola genangan kejadian banjir secara cukup baik. Sebagaimana disajikan pada Gambar 16, distribusi genangan menunjukkan ekspansi lateral yang signifikan akibat debit puncak yang melampaui kapasitas tampung penampang (*bankfull stage*). Konsentrasi kedalaman air tertinggi terkonsentrasi pada segmen dengan elevasi permukaan yang rendah dan area cekungan alami, yang secara hidrologis berfungsi sebagai zona akumulasi atau *sink area* utama dalam sistem DAS Ampal.

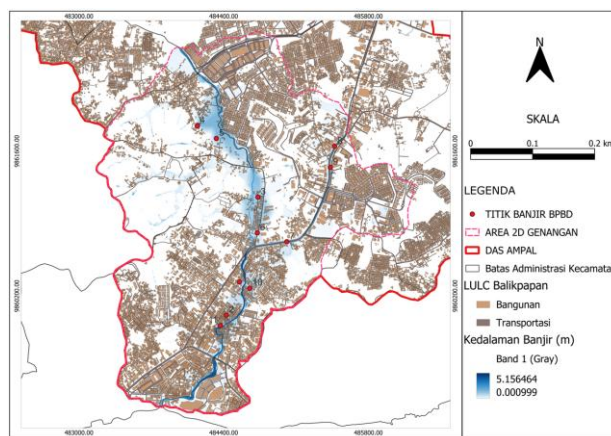


Gambar 16. Hasil Pemodelan HEC-RAS 2D  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

Pola genangan pada Gambar 16 juga merepresentasikan adanya hambatan hidraulik yang memicu kenaikan profil muka air secara vertikal. Akumulasi kedalaman yang signifikan di bagian tengah hingga hulu saluran mengindikasikan terjadinya efek air balik (*backwater effect*) akibat penyempitan dimensi penampang (*bottleneck*) di beberapa titik transisi. Selain itu, sebaran air yang meluas secara radial dari sumbu sungai mengindikasikan bahwa kecepatan aliran mereduksi secara drastis saat memasuki dataran banjir, yang dipicu oleh tingginya nilai kekasaran permukaan di wilayah terdampak. Fenomena ini menunjukkan bahwa model tidak hanya memetakan luasan, tetapi juga menangkap variabilitas kedalaman yang dikendalikan oleh topografi dan hambatan aliran fisik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 17

Peta sebaran genangan pada Gambar 17 menunjukkan bahwa luapan air secara dominan mengikuti morfologi koridor Sungai Klandasan Besar dengan pola ekspansi lateral yang meluas ke dataran banjir. Fenomena ini secara hidrodinamika dipicu oleh ketidakmampuan penampang eksisting dalam mengakomodasi akumulasi debit puncak, yang kemudian memicu aliran permukaan (*overland flow*) menuju kawasan permukiman. Akumulasi

air yang signifikan di beberapa segmen mengindikasikan adanya pengaruh area cekungan alami (*sink area*) yang bertindak sebagai zona retensi sementara akibat elevasi lahan yang lebih rendah dibandingkan tebing sungai.



Gambar 17. Peta Sebaran Genangan Eksisting  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

Tingginya proporsi permukaan kedap air (*impervious area*) di kawasan urban DAS Ampal secara linear meningkatkan koefisien limpasan, yang mempercepat waktu konsentrasi aliran dan memicu beban hidraulik spontan pada saluran primer. Kondisi ini diperparah oleh adanya hambatan fisik berupa kerapatan bangunan dan penyempitan penampang saluran (*bottleneck*) yang meningkatkan nilai kekasaran permukaan, sehingga mereduksi kecepatan aliran dan memperluas jangkauan spasial banjir.

Tabel 7. Kalibrasi HEC-RAS 2D Kondisi Eksisting

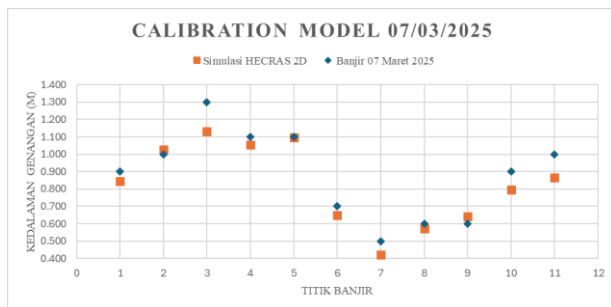
Titik Banjir	Lokasi Observasi	Observasi (m)	Simulasi (m)	Error (Obs-Sim)
1	Jalan Penegak	0,9	0,844	0,056
2	Gang Mufakat 2	1	1,025	-0,025
3	Pemukiman Beller	1,3	1,130	0,170
4	RT 58 Sumber Rejo	1,1	1,054	0,046
5	RT 59 Jokotelo	1,1	1,097	0,003
6	Jalan Beller	0,7	0,650	0,050
7	Jalan Mt Haryono	0,5	0,420	0,080
8	JL. MT Haryono 2	0,6	0,574	0,026
9	JL. MT Haryono (Depan Siloam)	0,6	0,643	-0,043
10	Jl. Penegak	0,9	0,796	0,104
11	Gang Mufakat 1	1	0,867	0,133

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Selain faktor internal morfologi sungai, perluasan genangan di wilayah hilir dipengaruhi oleh kendali hidraulik berupa efek air balik (*backwater effect*) akibat kondisi pasang surut. Interaksi antara hambatan aliran di area padat hulu dan elevasi muka air laut di muara

menciptakan resistensi hidraulika yang menghambat laju drainase, sehingga memperlama durasi genangan. Temuan ini menegaskan bahwa tipologi banjir di lokasi studi merupakan manifestasi dari sinergi antara keterbatasan kapasitas saluran, tekanan urbanisasi, dan pengaruh dinamika muka air laut di hilir. Validitas fenomena tersebut dievaluasi secara kuantitatif pada Tabel 7 menggunakan parameter RMSE dan NSE, dengan nilai error dihitung dari selisih kedalaman observasi dan simulasi (observasi – simulasi).

Perbandingan kedalaman genangan hasil observasi dan simulasi HEC-RAS 2D pada titik banjir teridentifikasi disajikan pada Gambar 18 untuk mengevaluasi keandalan model dalam merepresentasikan kondisi genangan aktual di DAS Ampal, Balikpapan. Hasil kalibrasi HEC-RAS 2D kondisi eksisting kejadian banjir 7 Maret 2025 yang disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 18, diperoleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,082 m dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,865. Nilai RMSE yang mendekati nol mengindikasikan bahwa deviasi kedalaman genangan antara hasil simulasi dan observasi relatif kecil, sehingga tingkat kesalahan model tergolong rendah. Sementara itu, nilai NSE sebesar 0,865 masuk dalam kategori baik merujuk pada kriteria yang tercantum dalam Tabel 4, yang mengonfirmasi kemampuan model dalam merepresentasikan variasi kedalaman genangan di lapangan secara akurat. Dengan demikian, integrasi model HEC-HMS dan HEC-RAS 2D terbukti memiliki tingkat kesesuaian dan menunjukkan kesesuaian yang baik pada kejadian banjir yang dikalibrasi untuk digunakan dalam analisis bahaya banjir pada tahap selanjutnya.



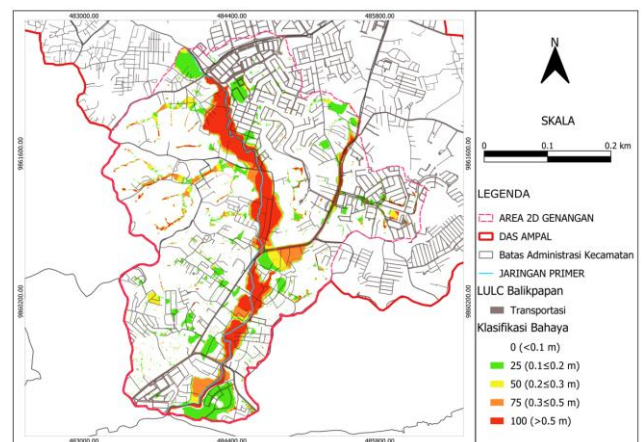
Gambar 18. Grafik Kalibrasi Model  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Hasil Klasifikasi Bahaya Banjir

Analisis bahaya banjir dilakukan dengan mengklasifikasikan kedalaman genangan (m) ke dalam lima kelas sesuai parameter pada Tabel 6. Distribusi spasial bahaya banjir dan luas area setiap kelas kedalaman disajikan pada Gambar 19 dan Gambar 20, yang menunjukkan bahwa zona dengan tingkat bahaya sangat tinggi (kedalaman >0,50 m) mencakup luasan signifikan sebesar 48,81 ha. Secara spasial, kelas bahaya ini terkonsentrasi secara linier di sepanjang koridor utama Sungai Klandasan Besar. Konsentrasi ini mengindikasikan adanya keterbatasan kapasitas tampung pada penampang sungai eksisting dalam merespons debit puncak, sehingga memicu luapan signifikan di sepanjang bantaran.

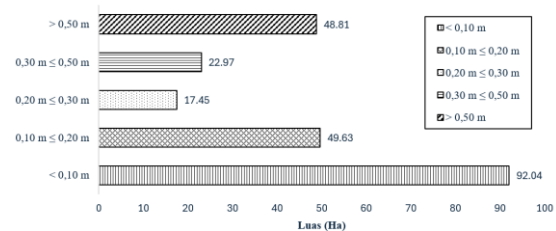
Secara khusus, kawasan Beller tercatat memiliki kedalaman genangan maksimum yang berada pada lokasi titik kalibrasi 3. Kondisi ini dipicu oleh karakteristik topografi lokal yang membentuk zona cekungan (*sink area*), sehingga secara hidrodinamika berfungsi sebagai titik akumulasi akhir bagi limpasan permukaan yang mengalir dari berbagai jaringan drainase di sekitarnya. Dominasi luasan pada klasifikasi tinggi dan sangat tinggi, yang secara kumulatif mencapai 71,78 ha, menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara volume limpasan dari hulu dengan kapasitas sistem drainase primer. Fenomena ini diperparah oleh ekspansi kawasan kedap air (*impervious area*) akibat urbanisasi yang pesat, yang secara drastis memperpendek waktu konsentrasi (*time of concentration*) dan memicu beban hidraulik spontan pada dataran banjir.

Data kuantitatif dan spasial ini memberikan landasan teknis dalam menetapkan skala prioritas mitigasi. Kawasan dengan tingkat bahaya sangat tinggi (zona merah) seluas 48,81 ha ditetapkan sebagai prioritas utama untuk intervensi struktural berupa normalisasi penampang saluran dan penguatan tebing guna meningkatkan efisiensi hidraulik aliran. Namun, upaya di bagian hilir ini harus diintegrasikan dengan strategi pengendalian di bagian hulu, seperti pembangunan kolam retensi (*retention pond*) untuk mereduksi debit puncak sebelum masuk ke saluran primer. Namun, rekomendasi tersebut masih bersifat konseptual berdasarkan peta bahaya banjir dan memerlukan analisis hidraulika lanjutan serta kajian aspek sosial, lingkungan, dan ketersediaan lahan sebelum diimplementasikan secara teknis di DAS Ampal.



Gambar 19. Peta Bahaya Banjir Berbasis Kedalaman Genangan  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

### Grafik Klasifikasi Bahaya Banjir 7 Maret 2025



Gambar 20. Grafik Klasifikasi Luas Bahaya Banjir (Ha)  
Sumber: Hasil Analisis (2026)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan terintegrasi hidrologi–hidrodinamika 2D pada DAS Ampal, dapat disimpulkan beberapa poin utama sebagai berikut:

1. Pemodelan hidrologi–hidrodinamika 2D terintegrasi menunjukkan kinerja yang baik dan andal dalam merepresentasikan kejadian banjir aktual, dengan nilai RMSE sebesar 0,082 m dan NSE sebesar 0,865.
2. Karakteristik genangan di DAS Ampal dikendalikan secara signifikan oleh faktor fisik, meliputi topografi rendah pada area cekungan (*sink area*), penyempitan penampang (*bottleneck*), dan tingginya proporsi permukaan kedap air (*impervious area*). Kondisi ini diperparah oleh hambatan bangunan serta efek air balik (*backwater*) akibat pasang surut di hilir.
3. Klasifikasi bahaya banjir berbasis kedalaman genangan menunjukkan bahwa wilayah aman (<0,10 m) mendominasi area genangan dengan luasan 92,04 ha yang umumnya berada pada elevasi lebih tinggi, sedangkan luasan maksimum pada kelas bahaya sangat tinggi (>0,50 m) mencapai 48,81 ha yang terkonsentrasi pada kawasan terbangun, yang dipengaruhi oleh kondisi topografi lokal, keterbatasan kapasitas drainase, dan peningkatan limpasan akibat urbanisasi, sehingga diperlukan prioritas mitigasi struktural dan non-struktural.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan terintegrasi mampu memberikan dasar yang kuat dalam penyusunan peta bahaya banjir. Namun demikian, keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan satu kejadian banjir sebagai dasar validasi serta jumlah titik observasi (11 titik) yang terbatas, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan data yang lebih beragam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdessamed, D. dan Abderrazak, B. (2019). “Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall–runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city, Ksour Mountain SW of Algeria”. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 78, Oktober 2019, Hal 1–13, Springer-Verlag GmbH, Germany.
- AL-Hussein, A. A. M., Khan, S., Ncibi, K., Hamdi, N., dan Hamed, Y. (2022). “Flood Analysis Using HEC-RAS and HEC-HMS: A Case Study of Khazir River Northern Iraq”. *Water*, Vol. 14, No. 3779, November 2022, Hal 1–17, MDPI, Basel, Switzerland.
- Ansori, M. B., Lasminto, U., dan Kartika, A. A. G. (2023). “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. 25, No. 107, Juli

2023, Hal 50–58, GEOMATE International Society, Japan.

- Awaliyah, N., Ariyaningsih, A., dan Ghozali, A. (2020). “Analisis faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar dan kesesuaian program dengan faktor penanganannya”. *Jurnal Penataan Ruang*, Vol. 15, No. 2, Hal 57–70.
- BPS Kota Balikpapan. (2026). “Kota Balikpapan Dalam Angka 2026”. *Laporan Penelitian*, BPS Kota Balikpapan, Balikpapan.
- Balikpapanfolks. (2025). “Pantauan Udara Banjir Balikpapan Tanggal 7 Maret 2025”. Dokumentasi Media, Balikpapanfolks Media, Balikpapan.
- BNPB. (2025). “Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) – Time Series Jumlah Kejadian Bencana Berdasarkan Kategori Bencana”. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta. Tersedia pada: <http://dibi.bnpb.go.id/superset/dashboard/p/QbNWPmVOLj2/>
- BPBD Balikpapan. (2025). “Laporan Statistik Bencana Kota Balikpapan”. *Laporan Penelitian*, Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Balikpapan, Balikpapan.
- Brunner, G. W. (2023). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 6.4.1*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA, USA.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. International ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Balikpapan. (2025). “Laporan Data Curah Hujan dan Analisis Hidrologi Kota Balikpapan”. *Laporan Penelitian*, Pemerintah Kota Balikpapan, Balikpapan.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014). “Peraturan Menteri PUPR Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan”. Ditjen Cipta Karya, Jakarta.
- Motovilov, Y. G., Gottschalk, L., Engeland, K., dan Rodhe, A. (1999). “Validation of a distributed hydrological model against spatial observations”. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 98, Hal 257–277.
- Muhding, N. Z. dan Lasminto, U. (2026). “Analisis perubahan tutupan lahan dan respon aliran permukaan di DAS Klandasan Besar, Kota Balikpapan”. *Journal of Authentic Research*, Vol. 5, No. 1, Februari 2026, Hal 39–52, Litpam Center, Indonesia.
- Peker, I. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., dan Beden, N. (2024). “Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping”. *Sustainability*, Vol. 16, No. 1226, Februari 2024, Hal 1–21, MDPI, Basel, Switzerland.

- Pemerintah Kota Balikpapan. (2021). “Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Balikpapan Tahun 2021–2026”. Pemerintah Kota Balikpapan, Balikpapan.
- Pratiwi, Z. N. dan Santosa, P. B. (2021). “Pemodelan banjir dan visualisasi genangan banjir untuk mitigasi bencana di Kali Kasin, Kelurahan Bareng, Kota Malang”. Skripsi, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Yanti, R. M. K. dan Saputra, A. A. I. (2021). “Pengendalian Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Ampal Kota Balikpapan: Analisis Kapasitas Sungai”. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Vol. 19, No. 1, Februari 2021, Hal 7–14, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya.
- Yanti, R. M. K., Anugerah, R. D., dan Apriani, D. W. (2019). “Evaluasi Kapasitas Saluran Sub DAS Ampal Kota Balikpapan”. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, Vol. 4, No. 2, Hal 136–144, Program Studi Teknik Sipil UTA '45 Jakarta, Jakarta.