

ANALISIS SPATIO-TEMPORAL GENANGAN BANJIR DI DAS AMPAL/ KLANDASAN BESAR, KOTA BALIKPAPAN

Oleh

Bimo Aji Widyanoro^{1*}, James William², Mohtana Kharisma Kadri³, Sarah Membala⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota / Institut Teknologi Kalimantan
E-mail: ¹ bimo.widyanoro@lecturer.itk.ac.id

Article History:

Received: 09-06-2025

Revised: 02-07-2025

Accepted: 12-07-2025

Kata kunci:

Spatio-Temporal, Banjir, DAS
Ampal, Kota Balikpapan

Abstrak: Wilayah DAS Ampal/Klandasan Besar adalah salah satu DAS perkotaan yang rentan terhadap bencana banjir akibat tekanan urbanisasi di Kota Balikpapan. Tercatat dalam 5 tahun terakhir (2019-2024) terdapat 68 titik banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar. Tingginya frekuensi banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar menjadi alasan pentingnya penelitian ini dilakukan untuk melihat pemodelan atau prediksi bencana banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar ke depan. Penelitian ini menggunakan metode pemodelan hidraulik menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan mengombinasikan simulasi aliran satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D). Input model adalah debit banjir rencana dari analisis hidrologi data curah hujan historis untuk kala ulang 2 hingga 100 tahun. Model kemudian divalidasi secara spasial menggunakan data historis titik banjir dari BPBD Kota Balikpapan dan data genangan dari citra satelit Sentinel-1 menggunakan Google Earth Engine. Hasil pemodelan 1D menunjukkan bahwa tanggul di bagian hulu setinggi 3,5 meter mulai terlampaui sejak kala ulang 2 tahun, dengan kedalaman aliran mencapai 4,15 meter. Bagian hilir mulai meluap pada kala ulang 5 tahun. Simulasi 2D secara spasial berhasil memetakan sebaran genangan dan mengidentifikasi empat titik kritis, termasuk Jl. Mufakat, Beller, Jl Penegak, dan Jl. Joko Tole. Pada skenario kala ulang 100 tahun, kedalaman genangan di titik-titik ini diproyeksikan mencapai 1,49 meter hingga 1,59 meter. Penelitian ini menyajikan sebuah model banjir dengan periode ulang dari tahun ke-2, ke-5, ke-10, ke-25, ke-50, dan ke-100.

PENDAHULUAN

Banjir merupakan suatu peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air meningkat. Permasalahan banjir ditimbulkan oleh berbagai faktor diantaranya elemen meteorologi, karakteristik fisik DAS, dan manusia [1]. Banjir dapat menyebabkan kerusakan besar, kehilangan nyawa, rusaknya infrastruktur, dan

ketidakstabilan ekonomi di suatu negara. Kota Balikpapan, sebagai kota pesisir yang berkembang pesat, menghadapi tantangan signifikan terkait pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) akibat konversi lahan, pertumbuhan kawasan terbangun, serta keterbatasan sistem drainase.

Salah satu kawasan yang sering mengalami kejadian banjir adalah DAS Ampal/Klandasan Besar yang berada di Kota Balikpapan. Menurut data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Balikpapan, sebanyak 68 kejadian banjir tercatat dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2019-2024), dengan enam titik genangan utama yang teridentifikasi pada tahun 2024 berada di sekitar aliran sungai utama DAS Ampal, seperti Jalan Penegak, Gang Mufakat, dan Perumahan Sosial [2]. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem hidrologi dan pengelolaan ruang di kawasan tersebut belum optimal dalam mengantisipasi aliran permukaan dan kapasitas tampung sungai.

Secara hidrologis, banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk curah hujan ekstrem, kapasitas saluran sungai yang terbatas, serta berkurangnya kemampuan infiltrasi lahan akibat perubahan tutupan lahan. Studi Awaliyah et al. (2020) mengkategorikan faktor penyebab banjir ke dalam faktor internal seperti kapasitas sungai dan drainase, serta faktor eksternal seperti intensitas hujan dan penggunaan lahan [3]. Pemodelan spatio-temporal banjir menjadi alat penting untuk memodelkan aliran sungai dan visualisasi area terdampak banjir secara spasial. Hicks dan Peacock (dalam Priambodo & Kamis, 2022) menunjukkan efektivitas HEC-RAS dalam menghasilkan simulasi hidraulik yang akurat untuk mendukung perencanaan mitigasi bencana [4].

Sejumlah penelitian terdahulu mendemonstrasikan penggunaan HEC-RAS dalam berbagai konteks. Pratiwi dan Santosa (2021) mengaplikasikan HEC-RAS untuk memodelkan genangan banjir di Kali Kasin, Kota Malang, dan menemukan bahwa hasil simulasi dapat memprediksi area terdampak dengan akurasi yang cukup tinggi [5]. Sementara itu, Kholiq et al. (2023) menggunakan data DTM LiDAR dalam pemodelan banjir di Kota Batu, dan berhasil mengidentifikasi kedalaman serta sebaran genangan secara lebih detail [6].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis spatio-temporal genangan banjir di kawasan DAS Ampal/Klandasan Besar, Kota Balikpapan, dengan menggunakan pendekatan simulasi hidraulik berbasis perangkat lunak HEC-RAS. Untuk memperoleh informasi spasial yang lebih akurat mengenai kedalaman dan sebaran banjir pada berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun).

LANDASAN TEORI

Banjir adalah salah satu bencana hidrometeorologi yang umum terjadi di wilayah tropis seperti Indonesia. Banjir didefinisikan sebagai meluapnya air ke daratan yang biasanya kering, disebabkan oleh curah hujan ekstrem, kapasitas sungai dan drainase yang terbatas, serta perubahan penggunaan lahan [7]. Genangan air sebagai salah satu manifestasi banjir disebabkan oleh akumulasi air yang tidak dapat mengalir secara cepat karena buruknya sistem drainase, dataran yang datar, serta minimnya ruang resapan air [8].

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan satuan wilayah perencanaan yang secara alami mengalirkan air dari hulu ke hilir melalui sistem sungai utama dan anak sungainya. Berdasarkan PP No. 37 Tahun 2012, DAS menjadi unit penting dalam pengelolaan sumber

daya air dan pengendalian banjir [9]. DAS Ampal/Klandasan Besar di Kota Balikpapan merupakan DAS perkotaan yang mengalami tekanan akibat urbanisasi, alih fungsi lahan, serta pertumbuhan permukiman di sempadan sungai [10].

Faktor-faktor yang menyebabkan banjir dapat dikategorikan menjadi dua: internal dan eksternal. Faktor internal mencakup kapasitas sungai, kapasitas drainase, infiltrasi tanah, serta topografi DAS. Sedangkan faktor eksternal meliputi intensitas hujan, penggunaan lahan, dan perilaku masyarakat seperti membuang sampah sembarangan. Penelitian Awaliyah et al. menunjukkan bahwa pengaruh perubahan penggunaan lahan di DAS Ampal menjadi salah satu penyebab utama peningkatan frekuensi banjir [3].

Untuk menganalisis fenomena banjir secara spasial dan kuantitatif, digunakan pendekatan pemodelan hidraulik. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan adalah HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), yang mampu memodelkan aliran sungai satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) [11]. Serta melakukan validasi pemodelan secara overlay dengan menggunakan citra Sentinel-1 menggunakan GEE.

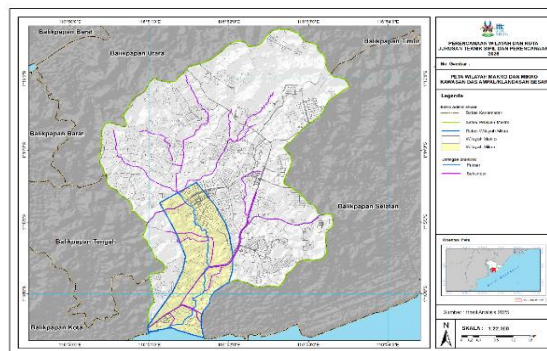
METODE PENELITIAN

1. Pendekatan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Oleh karena itu, paradigma yang dominan pada penelitian ini adalah paradigma positivisme. Paradigma positivisme adalah aliran filsafat yang menyatakan bahwa satu-satunya sumber pengetahuan yang sah adalah ilmu-ilmu alam yang didasarkan pada data empiris dan observasi yang dapat diukur [12]. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui tahapan analisis hidrologi dan hidraulik. Analisis hidrologi dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang akan digunakan sebagai input dalam pemodelan hidraulik.

2. Ruang Lingkup Penelitian

Secara astronomis, DAS Ampal atau dikenal juga dengan DAS Klandasan Besar terletak antara 1,2°–1,3° LS dan 116,8°–116,9° BT. Dengan luas wilayah mencapai ± 2661,86 hektar yang mencakup, sebagian wilayah Kecamatan Balikpapan Kota, Balikpapan Selatan, dan Balikpapan Tengah, dengan fokus utama pada aliran sungai utama sepanjang ±4,6 km dan luas kawasan mikro yang didelineasi sebesar 4,15 km², sebagai fokus utama dalam analisis hidrologi dan pemodelan spatio-temporal genangan banjir.



Gambar 1. Peta Wilayah Makro (abu-abu) dan Wilayah Mikro (kuning) DAS AMPAL/Klandasan Besar

3. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan besarnya debit banjir rencana yang akan digunakan sebagai input dalam pemodelan hidraulik. Tahapan ini diawali dengan pengolahan data curah hujan maksimum harian tahunan yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan di wilayah studi. Data tersebut dianalisis menggunakan beberapa distribusi probabilitas yang umum digunakan dalam studi hidrologi, yaitu distribusi Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III, dengan tujuan untuk memperoleh estimasi curah hujan rencana pada berbagai kala ulang, seperti 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Pemilihan distribusi terbaik didasarkan pada hasil uji kecocokan, yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov, yang membandingkan distribusi teoritis dengan data observasi secara statistik [7] Triatmodjo. Distribusi yang menghasilkan nilai statistik terkecil dan memenuhi syarat signifikan dianggap paling sesuai dengan data. Selanjutnya, Debit banjir rencana dihitung menggunakan metode resional sebagai berikut [8] Badan Standardisasi Nasional. (2016).

$$Q_p = 0,278 \times C \times I \times A$$

Diketahui:

- C : Koefisien limpasan
 I : Intensitas curah hujan (mm/jam)
 A : Luas daerah aliran (km²)
 Q_p : Debit puncak banjir (m³/s)

Intensitas curah hujan merupakan salah satu parameter utama yang sangat berpengaruh dalam perhitungan debit banjir rencana, karena besarnya intensitas akan menentukan volume limpasan permukaan yang terjadi dalam suatu periode waktu tertentu, terutama pada saat hujan dengan durasi dan intensitas tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya banjir di wilayah tangkapan air yang tidak mampu mengalirkan air secara optimal. Intensitas curah hujan di hitung menggunakan metode mononobe [8] sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Diketahui:

- I : Intensitas curah hujan (mm)
 R_{24} : Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)
 t_c : Waktu konsentrasi (jam)

Waktu konsentrasi dihitung dengan rumus Kirpich (SNI 2415:2016) :

$$t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-3,85}$$

Diketahui:

- t_c : Waktu konsentrasi (jam)
 L : Panjang Lintasan (m)
 S : Kemiringan rata-rata daerah lintasan air

Nilai koefisien limpasan digunakan sebagai salah satu parameter penting dalam perhitungan debit banjir rencana karena nilai ini merepresentasikan kemampuan permukaan lahan dalam merespons curah hujan, yaitu seberapa besar air hujan yang

langsung menjadi aliran permukaan tanpa mengalami infiltrasi. Koefisien ini sekaligus mencerminkan karakteristik tutupan lahan (land cover). Berikut ini tabel nilai koefisien limpasan berdasarkan tutupan lahan [9].

Tabel 1. Koefisien Limpasan Berdasarkan Tutupan Lahan

No.	Tutupan Lahan	Koefisien Limpasan (C)
1	Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
2	Semak Belukar	0,07
3	Hutan Primer	0,02
4	Hutan Tanaman Industri	0,02
5	Hutan Rawa Sekunder	0,15
6	Perkebunan	0,40
7	Pertanian Lahan Kering	0,10
8	Permukiman	0,60
9	Sawah	0,15
10	Tambak	0,05
11	Terbuka	0,20
12	Badan Air	0,05
13	Badan Jalan	0,70
14	Pemukaman	0,10

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Pada Tabel 1. kawasan yang memiliki beragam jenis tutupan lahan, diperlukan perhitungan rata-rata dari nilai koefisien limpasan untuk merepresentasikan kondisi aktual di lapangan secara lebih akurat, mengingat setiap jenis tutupan lahan memiliki kontribusi yang berbeda terhadap besarnya aliran permukaan yang dihasilkan. Perhitungan rata-rata nilai koefisien limpasan dihitung sebagai berikut [8].

$$C_{gap} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A}$$

Diketahui:

C_{gap} : Nilai koefisien limpasan rata-rata

C_i : Nilai koefisien limpasan tutupan lahan

A_i : Luasan daerah aliran (Km²)

4. Pemodelan 1D dan 2D

Pemodelan spatio-temporal genangan banjir menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Proses pemodelan ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis, dimulai dengan membuka aplikasi HEC-RAS dan melakukan pra-pemrosesan data geometri sungai yang mencakup penginputan data penampang melintang, elevasi, serta kondisi batas. Setelah itu, debit banjir rencana yang telah dihitung pada tahap hidrologi dimasukkan sebagai input aliran untuk skenario simulasi. Pemodelan dilakukan dengan mengombinasikan model aliran satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D). Proses simulasi dilanjutkan dengan pemrosesan model untuk menghitung tinggi muka air dan penyebaran genangan.

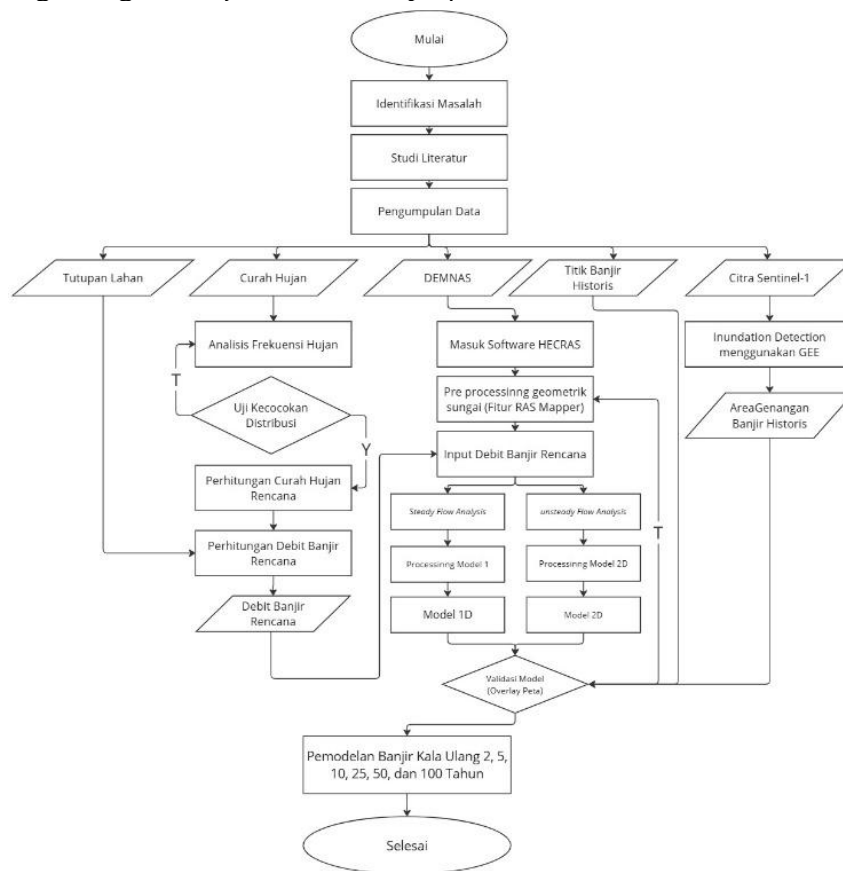
5. Validasi Hasil Pemodelan Spatio Temporal

Untuk memperkuat akurasi spasial dalam validasi, digunakan platform Google Earth Engine (GEE) sebagai alat bantu pengolahan data citra satelit. GEE memungkinkan

pengambilan dan pemrosesan citra Sentinel-1 pada periode kejadian banjir untuk mendeteksi area genangan air melalui klasifikasi indeks NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Teknik ini telah digunakan secara luas dalam pemetaan permukaan air karena sensitivitasnya terhadap perbedaan spektral air dan vegetasi [2]. Overlay hasil klasifikasi NDWI dari GEE dengan hasil simulasi genangan dari HEC-RAS dilakukan di ArcMap. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar titik banjir historis berada dalam cakupan genangan hasil model 2D, terutama pada skenario debit kala ulang 2 dan 5 tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa model HEC-RAS yang digunakan cukup representatif dalam menggambarkan kondisi riil genangan di wilayah studi [3].

6. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir berikut menggambarkan tahapan sistematis dalam penelitian analisis spatio-temporal genangan banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

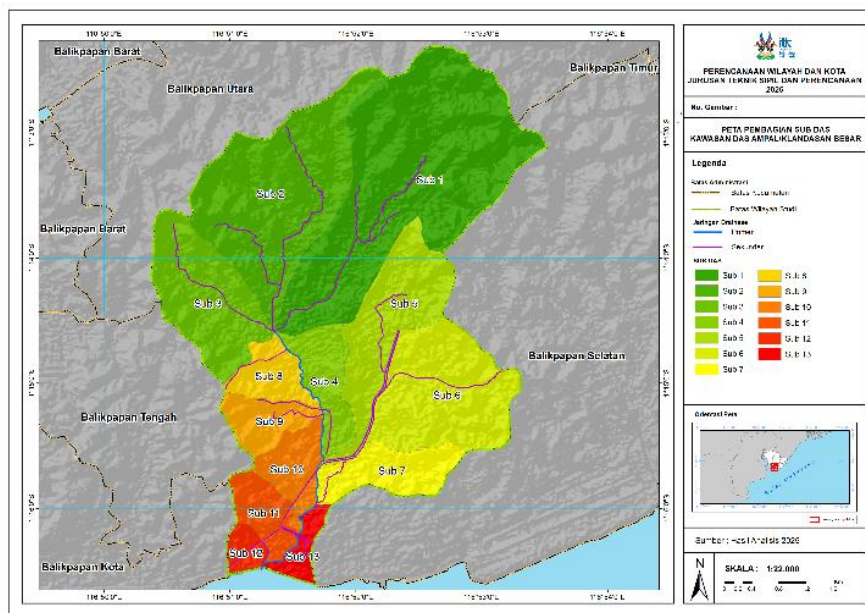
HASIL DAN PEMBAHASAN

DAS Ampal/Klandasan Besar merupakan salah satu daerah aliran sungai utama di Kota Balikpapan yang secara hidrologis terbagi ke dalam 13 sub-DAS. Pembagian ini dilakukan berdasarkan kesesuaian pola aliran, kondisi topografi, serta batas-batas hidrologis alami, dengan tujuan untuk mendukung pengelolaan sumber daya air dan perencanaan wilayah secara terpadu dan berkelanjutan.

Tabel 2. Panjang Saluran dan Luasan Sub DAS Ampal/Klandasan Besar

No	Sub DAS	Luas Wilayah (Ha)	Panjang Saluran (m)
1	Sub DAS 1	749,38 Ha	5677,39 m
2	Sub DAS 2	472,97 Ha	5616,24 m
3	Sub DAS 3	248,67 Ha	2547,74 m
4	Sub DAS 4	108,74 Ha	1548,56 m
5	Sub DAS 5	241,18 Ha	4071,36 m
6	Sub DAS 6	321,22 Ha	4586,15 m
7	Sub DAS 7	123,36 Ha	941,28 m
8	Sub DAS 8	79,43 Ha	1157,23 m
9	Sub DAS 9	81,54 Ha	1963,07 m
10	Sub DAS 10	89,85 Ha	646,94 m
11	Sub DAS 11	79,663 Ha	1262,98 m
12	Sub DAS 12	34,05 Ha	1022,73 m
13	Sub DAS 13	42,21 Ha	693,28 m

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025



Gambar 3. Peta Pembagian Sub DAS Ampal/Klandasan Besar

DAS Ampal/Klandasan Besar terdiri atas 13 sub-DAS dengan variasi luas wilayah dan panjang saluran yang signifikan. Sub-DAS 1 merupakan yang terluas, mencakup 749,38 hektar dengan panjang saluran 5.677,39 meter, diikuti oleh Sub-DAS 2 seluas 472,97 hektar dan panjang saluran 5.616,24 meter. Sub-DAS terkecil adalah Sub-DAS 12 dengan luas 34,05 hektar, namun memiliki saluran sepanjang 1.022,73 meter. Sub-DAS 3, 5, dan 6 juga memiliki cakupan wilayah cukup besar dengan panjang saluran lebih dari 2.500 meter. Adapun Sub-DAS 10 memiliki saluran terpendek, yaitu 646,94 meter, meskipun luas wilayahnya masih lebih besar dari beberapa sub-DAS lain.

Data curah hujan maximum diperoleh pada Stasiun Meteorologi Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggang yang telah terjadi selama 10 tahun terakhir yakni 2015-2024. Berikut data rata-rata curah hujan harian maksimum yang didapatkan yaitu:

Tabel 3. Panjang Saluran dan Luasan Sub DAS Ampal/Klandasan Besar

No	Tahun	Harian MAX (mm)	Tanggal
1	2015	108,1 mm	15/01/2015
2	2016	75,6 mm	04/12/2016
3	2017	198,0 mm	04/06/2017
4	2018	161,4 mm	01/07/2018
5	2019	165,8 mm	13/07/2019
6	2020	154,5 mm	10/02/2020
7	2021	90,1 mm	12/08/2021
8	2022	190,5 mm	25/08/2022
9	2023	100,7 mm	15/03/2023
10	2024	144,2 mm	05/08/2024

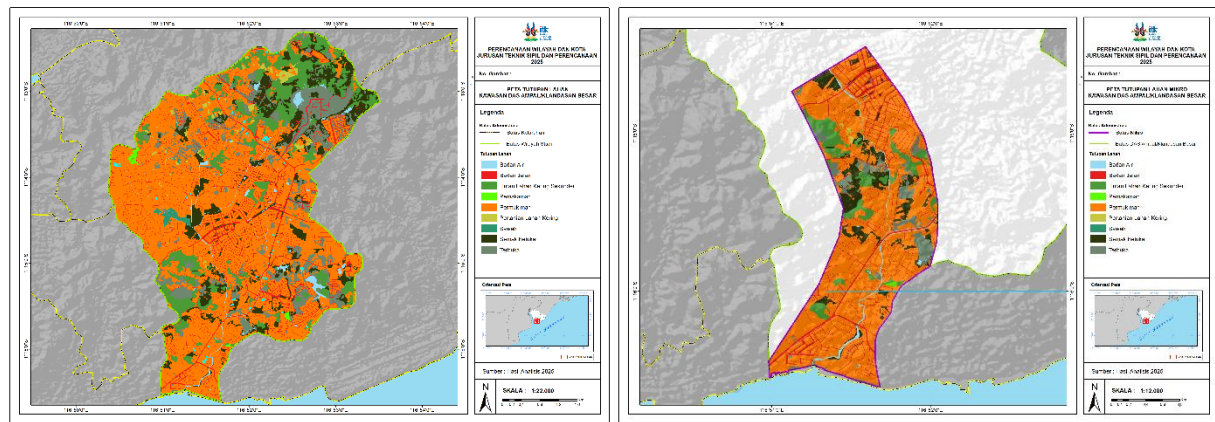
Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

karakteristik fisik kawasan di wilayah DAS Ampal/Klandasan Besar, dilakukan analisis tutupan lahan yang mencakup berbagai kategori penggunaan yang di bagi menjadi dua kawasan yaitu kawasan makro dan kawasan mikro. Data berikut menggambarkan sebaran luas masing-masing jenis tutupan lahan.

Tabel 4. Luasan Tutupan Lahan Kawasan DAS Ampal/Klandasan Besar

No	Penggunaan Lahan Makro	Luas (Ha)	Penggunaan Lahan Mikro	Luas (Ha)	Warna
1	Badan Air	37,27 Ha	Badan Air	6,02 Ha	
2	Badan Jalan	198,60 Ha	Badan Jalan	37,35 Ha	
3	Hutan Lahan Kering Sekunder	304,56 Ha	Hutan Lahan Kering Sekunder	30,69 Ha	
4	Pemukaman	6,75 Ha	Pemukaman	0,49 Ha	
5	Permukiman	1523,58 Ha	Permukiman	280,27 Ha	
5	Pertanian Lahan Kering	27,32 Ha	Pertanian Lahan Kering	0,75 Ha	
6	Sawah	13,31 Ha	Sawah	34,07 Ha	
7	Semak Belukar	253,70 Ha	Semak Belukar	25,92 Ha	
8	Lahan Terbuka	307,17 Ha	Lahan Terbuka	6,02 Ha	
	Total	2365,09 Ha		421,58 Ha	

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025



(a) (b)
Gambar 4. Peta Tutupan Lahan (a) Kawasan Makro DAS Ampal/Klandasan Besar dan (b) Kawasan Mikro DAS Ampal/Klandasan Besar

Permukiman merupakan tutupan lahan terbesar di wilayah DAS Ampal/Klandasan Besar dengan luas 1.523,58 ha, diikuti oleh lahan terbuka (307,17 ha) dan hutan lahan kering sekunder (304,56 ha). Lahan semak belukar juga cukup luas (253,70 ha), sedangkan badan jalan dan badan air masing-masing mencakup 198,60 ha dan 37,27 ha. Tutupan lahan lainnya seperti pertanian lahan kering, sawah, dan pemakaman memiliki luas yang relatif kecil. Komposisi ini mencerminkan dominasi wilayah terbangun dan tekanan terhadap lahan alami.

Perhitungan hujan rencana pada penelitian ini dilakukan berdasarkan nilai kala ulang sebesar 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Perhitungan dilakukan untuk memperkirakan besarnya hujan maksimum yang berpeluang terjadi dalam suatu periode tertentu. Nilai hujan rencana diperoleh melalui pendekatan distribusi probabilitas menggunakan metode Log Pearson Tipe III, yang dipilih berdasarkan hasil pengujian kesesuaian sebaran data.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Curah Hujan Rencana

No	Periode Ulang (Tr)	$\log \bar{X}$	Standar Deviasi (s)	Koefisien Skewness (C_s)	Nilai K (K_{Tr})	Curah Hujan Rencana (X_{Tr})
1	2	2,122	0,144	-0,5	0,083	136 mm
2	5				0,856	176 mm
3	10				1,216	198 mm
4	25				1,562	223 mm
5	50				1,777	239 mm
6	100				1,955	254 mm

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Berdasarkan hasil analisis perhitungan curah hujan rencana menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, diperoleh nilai log rata-rata sebesar 2,122, simpangan baku log sebesar 0,144, dan koefisien skewness sebesar -0,5. Nilai faktor frekuensi menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya periode ulang. Untuk periode ulang 2 tahun, curah hujan rencana sebesar 136 mm. Nilai curah hujan rencana meningkat menjadi 176 mm untuk Tr 5 tahun, 198 mm untuk Tr 10 tahun, untuk Tr 25 tahun sebesar 224 mm, untuk Tr 50 tahun

sebesar 239 mm dan terus bertambah hingga mencapai 254 mm pada periode ulang 100 tahun. Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin panjang periode ulang, semakin besar pula curah hujan ekstrem yang diperkirakan terjadi, yang relevan untuk menentukan debit banjir rencana.

Penentuan debit banjir rencana menggunakan metode rasional yang diterapkan pada masing-masing sub-DAS di kawasan DAS Ampal/Klandasan Besar, Kota Balikpapan. Metode ini menghitung debit berdasarkan tiga komponen utama, yaitu luas daerah aliran (A), intensitas curah hujan (I) yang disesuaikan dengan waktu konsentrasi (T_c), dan koefisien limpasan (C) yang merepresentasikan karakteristik penggunaan lahan dan kemampuan infiltrasi permukaan dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 Tahun.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 2 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	136	6,97	7,49	0,30	4,37
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		7,05	4,73	0,47	4,32
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		10,31	2,49	0,57	4,04
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		13,00	1,09	0,54	2,12
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		8,04	2,41	0,53	2,86
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		7,75	3,21	0,44	3,04
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		17,16	1,23	0,48	2,82
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		15,94	0,79	0,38	1,33
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		12,99	0,82	0,24	0,70
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		21,24	0,90	0,47	2,48
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		15,56	0,80	0,51	1,77
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		16,86	0,34	0,56	0,90
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		20,36	0,42	0,56	1,33
Total Qp (m3/s)								32,073

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 7. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 5 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	t_c (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km ²)	C	Qp (m ³ /s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	176	9,02	7,49	0,30	5,65
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		9,11	4,73	0,47	5,58
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		13,33	2,49	0,57	5,22
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		16,81	1,09	0,54	2,74
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		10,39	2,41	0,53	3,70
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		10,02	3,21	0,44	3,93

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		22,18	1,23	0,48	3,65
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		20,61	0,79	0,38	1,72
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		16,79	0,82	0,24	0,90
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		27,46	0,90	0,47	3,20
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		20,11	0,80	0,51	2,29
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		21,80	0,34	0,56	1,16
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		26,32	0,42	0,56	1,72
Total Qp (m3/s)								41,465

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 8. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 5 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	198	10,16	7,49	0,30	6,37
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		10,27	4,73	0,47	6,29
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		15,03	2,49	0,57	5,88
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		18,94	1,09	0,54	3,08
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		11,71	2,41	0,53	4,17
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		11,29	3,21	0,44	4,43
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		25,00	1,23	0,48	4,11
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		23,23	0,79	0,38	1,93
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		18,92	0,82	0,24	1,01
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		30,95	0,90	0,47	3,61
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		22,67	0,80	0,51	2,58
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		24,57	0,34	0,56	1,31
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		29,66	0,42	0,56	1,94
Total Qp (m3/s)								46,733

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 9. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala ulang 10 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km ²)	C	Qp (m ³ /s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	198	10,16	7,49	0,30	6,37
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		10,27	4,73	0,47	6,29
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		15,03	2,49	0,57	5,88
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		18,94	1,09	0,54	3,08
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		11,71	2,41	0,53	4,17
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		11,29	3,21	0,44	4,43
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		25,00	1,23	0,48	4,11

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		23,23	0,79	0,38	1,93
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		18,92	0,82	0,24	1,01
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		30,95	0,90	0,47	3,61
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		22,67	0,80	0,51	2,58
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		24,57	0,34	0,56	1,31
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		29,66	0,42	0,56	1,94
Total Qp (m3/s)								46,733

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 10. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 25 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	223	11,40	7,49	0,30	7,15
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		11,52	4,73	0,47	7,06
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		16,86	2,49	0,57	6,60
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		21,25	1,09	0,54	3,46
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		13,14	2,41	0,53	4,68
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		12,67	3,21	0,44	4,98
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		28,05	1,23	0,48	4,62
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		26,06	0,79	0,38	2,17
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		21,23	0,82	0,24	1,14
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		34,72	0,90	0,47	4,05
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		25,43	0,80	0,51	2,89
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		27,56	0,34	0,56	1,46
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		33,28	0,42	0,56	2,18
Total Qp (m3/s)								52,426

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 11. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 50 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km ²)	C	Qp (m ³ /s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	239	12,24	7,49	0,30	7,68
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		12,38	4,73	0,47	7,58
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		18,11	2,49	0,57	7,09
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		22,82	1,09	0,54	3,71
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		14,12	2,41	0,53	5,02
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		13,60	3,21	0,44	5,34
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		30,12	1,23	0,48	4,96
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		27,99	0,79	0,38	2,33

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		22,80	0,82	0,24	1,22
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		37,29	0,90	0,47	4,35
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		27,31	0,80	0,51	3,11
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		29,60	0,34	0,56	1,57
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		35,74	0,42	0,56	2,34
Total Qp (m3/s)								56,308

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Tabel 12. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Kala Ulang 100 Tahun

Sub DAS	L (m)	s	tc (jam)	R24 (mm)	I (mm/jam)	A (km2)	C	Qp (m3/s)
Sub DAS 1	5677,39	0,677	17,62	254	12,99	7,49	0,30	8,14
Sub DAS 2	5616,24	0,691	17,33		13,13	4,73	0,47	8,04
Sub DAS 3	2547,74	0,626	9,80		19,21	2,49	0,57	7,52
Sub DAS 4	1548,56	0,570	6,92		24,21	1,09	0,54	3,94
Sub DAS 5	4071,36	0,606	14,23		14,98	2,41	0,53	5,33
Sub DAS 6	4586,15	0,666	15,04		14,43	3,21	0,44	5,67
Sub DAS 7	941,28	0,621	4,57		31,96	1,23	0,48	5,26
Sub DAS 8	1157,23	0,705	5,10		29,69	0,79	0,38	2,47
Sub DAS 9	1963,07	0,912	6,93		24,19	0,82	0,24	1,30
Sub DAS 10	646,94	0,674	3,31		39,57	0,90	0,47	4,62
Sub DAS 11	1262,98	0,763	5,29		28,97	0,80	0,51	3,30
Sub DAS 12	1022,73	0,685	4,69		31,41	0,34	0,56	1,67
Sub DAS 13	693,28	0,656	3,53		37,92	0,42	0,56	2,48
Total Qp (m3/s)								59,739

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025

Berdasarkan tabel 6. menunjukkan debit puncak pada kala ulang 2 tahun, di mana debit tertinggi tetap terjadi di Sub DAS 1 dengan nilai 5,65 m³/s, sedangkan Sub DAS 13 hanya 1,72 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 41,465 m³/s. Tabel 6 menunjukkan debit puncak pada kala ulang 5 tahun, di mana sub DAS 1 menghasilkan debit puncak 6,37 m³/s, sedangkan Sub DAS 13 tercatat 1,94 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 46,733 m³/s. Tabel 7. menunjukkan debit puncak pada kala ulang 10 tahun, di mana Sub DAS 1 menghasilkan debit puncak 6,37 m³/s, sedangkan Sub DAS 13 tercatat 1,94 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 46,733 m³/s. Tabel 8. menunjukkan debit puncak kala ulang 25, di mana Sub DAS 1 mencapai 7,15 m³/s dan Sub DAS 13 sebesar 2,18 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 52,426 m³/s. Tabel 9. menunjukkan debit puncak pada kala ulang 50 tahun, di mana sub DAS 1 tetap menunjukkan debit puncak tertinggi yaitu 7,68 m³/s, sedangkan Sub DAS 13 sebesar 2,34 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 56,308 m³/s. Tabel 10. menunjukkan debit puncak pada kala ulang 100 tahun, di mana Debit

puncak tertinggi tercatat pada Sub DAS 1 dengan nilai 8,14 m³/s, sementara Sub DAS 13 memiliki debit puncak terendah sebesar 2,48 m³/s dengan total Qp dari semua Sub DAS adalah 59,739 m³/s.

Adapun gambar dibawah ini memperlihatkan dalam bentuk cross section kedalaman hulu dan hilir sungai simulasi banjir 1D kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menggunakan HEC-RAS.

Tabel 13. Kedalaman Hulu dan Hilir Sungai Pemodelan 1D

No.	Kala Ulang	Tinggi Tanggul Sungai (m)		Kedalaman Hasil Pemodelan (m)	
		Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
1	2	3,5 meter	4 Meter	4,15 m	3,88 m
2	5			4,62 m	4,09 m
3	10			4,81 m	4,27 m
4	25			5,02 m	4,49 m
5	50			5,17 m	4,64 m
6	100			5,34 m	4,82 m

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025



Gambar 5. Cross Section Pemodelan 1D bagian (a) Hulu dan (b) Hilir per Kala Ulang

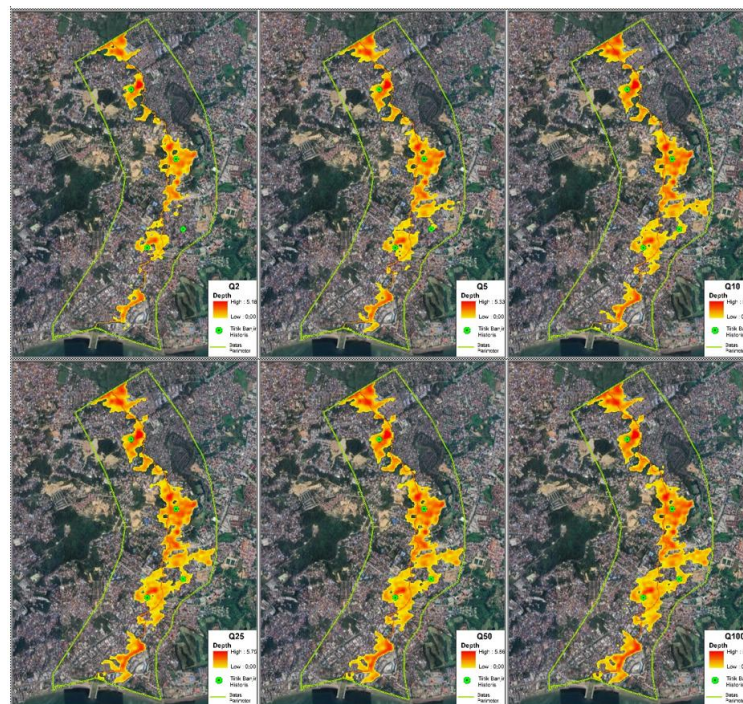
Hasil pemodelan 1D menunjukkan bahwa kedalaman aliran meningkat seiring bertambahnya kala ulang. Di bagian hulu, tanggul setinggi 3,5 m mulai meluap sejak kala ulang 2 tahun (kedalaman 4,15 m), dan terus meningkat hingga 5,34 m pada kala ulang 100 tahun, dengan luapan maksimum 1,84 m. Sementara itu, di hilir yang memiliki tanggul 4,0 m, luapan mulai terjadi pada kala ulang 5 tahun (kedalaman 4,09 m), dan mencapai 4,82 m pada kala ulang 100 tahun, atau luapan setinggi 0,82 m. Kondisi ini menunjukkan bahwa baik hulu maupun hilir memiliki risiko tinggi terhadap banjir pada kala ulang menengah hingga besar.

Selanjutnya gambar dibawah ini memperlihatkan hasil simulasi banjir 2D kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menggunakan HEC-RAS. Warna merah mengindikasikan kedalaman genangan yang tinggi dan warna kuning menunjukkan kedalaman yang lebih rendah mendekati nol.

Tabel. 14 Kedalaman Berdasarkan Titik Banjir Historis Pemodelan 2D

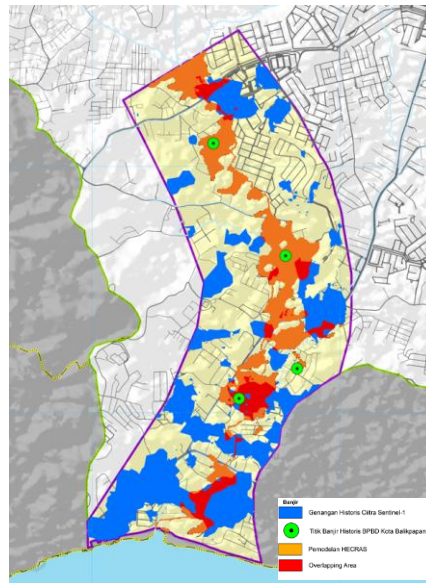
No	Kala Ulang	Kedalaman (m)			
		Jl. Joko Tole	Beller	Jl. Penegak	Jl. Mufakat
1	2	1,02 m	1,07 m	0,22 m	1,13 m
2	5	1,12 m	1,18 m	0,50 m	1,21 m
3	10	1,24 m	1,35 m	1,21 m	1,36 m
4	25	1,38 m	1,41 m	1,28 m	1,41 m
5	50	1,44 m	1,48 m	1,43 m	1,47 m
6	100	1,49 m	1,55 m	1,53 m	1,59 m

Sumber: Hasil Analisis Penulis, 2025



Gambar 6. Hasil Pemodelan 2D banjir dengan Kala Ulang dari Tahun ke-2 hingga ke-100 (Q2-Q100)

Kedalaman genangan di empat lokasi meningkat seiring bertambahnya kala ulang. Pada Tr 2 tahun, genangan terendah terjadi di Jl. Penegak (0,22 m) dan tertinggi di Jl. Mufakat (1,13 m). Pada Tr 5 tahun, kedalaman berkisar antara 0,50 m hingga 1,21 m, dan meningkat pada Tr 10 tahun menjadi 1,21–1,36 m. Kala ulang 25 dan 50 tahun menunjukkan genangan di atas 1,28 m hingga 1,48 m. Pada Tr 100 tahun, genangan tertinggi terjadi di Jl. Mufakat (1,59 m), diikuti Beller (1,55 m), Jl. Penegak (1,53 m), dan Jl. Joko Tole (1,49 m). Hal ini menunjukkan peningkatan risiko banjir signifikan pada kejadian hujan ekstrem. Untuk mengevaluasi tingkat akurasi pemodelan spatio-temporal banjir yang dilakukan, dilakukan proses validasi spasial dengan cara overlay hasil pemodelan spatio-temporal genangan banjir, titik banjir historis dari BPBD Kota Balikpapan, serta hasil klasifikasi genangan dari citra Sentinel-1 yang diolah menggunakan Google Earth Engine (GEE). Hasil overlay ketiga data tersebut ditampilkan pada peta berikut.



Gambar 7. Peta Overlay Genangan Banjir dengan Hasil Pemodelan

Gambar diatas menunjukkan hasil overlay antara genangan historis dari citra Sentinel-1, titik banjir historis dari BPBD Kota Balikpapan, dan hasil pemodelan spatio temporal banjir menggunakan HEC-RAS di kawasan DAS Ampal/Klandasan Besar. Hasil overlay ini memperlihatkan adanya konsistensi spasial antara area yang diidentifikasi sebagai rawan banjir oleh model dengan area yang tercatat mengalami genangan berdasarkan data historis dan penginderaan jauh. Area berwarna merah menunjukkan overlapping area, yaitu zona yang mengalami genangan baik dalam hasil analisis spatio temporal maupun pada data historis. Overlapping ini tersebar merata dari bagian tengah hingga hilir DAS, terutama di kawasan permukiman padat dan dataran rendah. Titik-titik hijau yang merepresentasikan data BPBD sebagian besar jatuh dalam wilayah yang teridentifikasi tergenang oleh model dan citra satelit, yang menunjukkan tingkat akurasi model yang tinggi dalam merepresentasikan kondisi banjir nyata.

KESIMPULAN

Hasil analisis spatio temporal genangan banjir menunjukkan bahwa DAS Ampal/Klandasan Besar memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap genangan, terutama pada bagian hulu dan dataran rendah. Pemodelan 1D memperlihatkan bahwa luapan mulai terjadi di bagian hulu sejak kala ulang 2 tahun, dengan kedalaman muka air sebesar 4,15 m, melebihi tanggul eksisting setinggi 3,5 m. Pada kala ulang 100 tahun, kedalaman aliran mencapai 5,34 m di hulu dan 4,82 m di hilir, menunjukkan luapan masing-masing sebesar 1,84 m dan 0,82 m dari tinggi tanggul. Sementara itu, pemodelan 2D berhasil memvisualisasikan distribusi genangan di empat titik banjir utama: Jl. Joko Tole, Beller, Jl. Penegak, dan Jl. Mufakat. Kedalaman genangan pada titik-titik tersebut meningkat signifikan seiring bertambahnya kala ulang. Pada Tr 2 tahun, genangan berkisar antara 0,22 m hingga 1,13 m, sedangkan pada Tr 100 tahun meningkat menjadi 1,49 m hingga 1,59 m. Pola penyebaran genangan menunjukkan bahwa wilayah padat permukiman dan dataran rendah merupakan zona paling terdampak. Validasi pemodelan melalui overlay antara hasil simulasi, titik banjir historis BPBD, dan hasil klasifikasi NDWI dari citra Sentinel-1

menunjukkan tingkat kecocokan spasial yang baik, memperkuat keandalan model. Secara keseluruhan, hasil memberikan gambaran kuantitatif dan spasial yang akurat terhadap potensi genangan.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan, atas dukungan fasilitas dan arahan akademik selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada BPBD Kota Balikpapan yang sangat membantu dalam proses penelitian berlangsung. Penulis juga menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramadhan, A. G., Handayani, H. H., & Darminto, M. R. (2022). Analisis Peta Rawan Banjir Metode Pembobotan dan Peta Genangan Banjir Metode NDWI terhadap Kejadian Banjir (Studi Kasus: Kabupaten Sidoarjo). *Geoid*, 17(2), 232.
- [2] Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Balikpapan. (2022). *Kajian Risiko Bencana Kota Balikpapan Tahun 2022–2026*. Pemerintah Kota Balikpapan.
- [3] Awaliyah, N., Ariyaningsih, A., & Ghozali, A. (2020). Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap Terjadinya Banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar dan Kesesuaian Program dengan Faktor Penanganannya. *Jurnal Penataan Ruang*, 57.
- [4] Priambodo, Y. A., & Kamis, M. (2022). Pemodelan dan visualisasi banjir di Dusun Lukolamo, Weda Tengah, Kabupaten Halmahera Tengah. *Jurnal Biosainstek*, 4(2).
- [5] Pratiwi, Z. N., & Santosa, P. B. (2021). Pemodelan banjir dan visualisasi genangan banjir untuk mitigasi bencana di Kali Kasin, Kelurahan Bareng, Kota Malang. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 56–64.
- [6] Kholiq, G. S., Hidayat, H., Nurwatik, N. (2023). Pemodelan dan Visualisasi Genangan Banjir Menggunakan Data DTM LiDAR (Studi Kasus: Kota Batu, Jawa Timur). *Jurnal Teknik ITS*, 12(1).
- [7] Fadhliani, Cut, Elin Diah Syafitri, dan Setyo Budi Utomo. "Analisis Penanganan Banjir Akibat Perubahan Penggunaan lahan Menggunakan HEC-RAS di Sungai Kukar." *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1 (2022): 15–24.
- [8] Sukmana, Andri. "Genangan Air di Kawasan Perkotaan dan Strategi Mitigasinya." *Jurnal Planesa*, vol. 8, no. 2 (2018): 103–110.
- [9] Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Jakarta: Kementerian Hukum dan HAM, 2012.
- [10] Yanti, Kadar, dan Riko Saputra. "Analisis Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Ampal dan Dampaknya Terhadap Resiko Banjir." *Jurnal Wilayah dan Kota*, vol. 5, no. 2 (2021): 45–54.
- [11] Ghimire, Roshan, et al. "Application of HEC-RAS for Floodplain Analysis in Urban Watershed: A Case Study in Kathmandu." *Hydrology Current Research*, vol. 11, no. 3 (2020): 1–9.
- [12] Mayadah, U. (2022). Positivisme Auguste Comte. *Paradigma: Jurnal Kalam dan Filsafat*, 2(1), 1–12.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN