

Analisis Luas Wilayah Genangan dan Tinggi Banjir pada Proyek Rencana Kegiatan Superblok Kota Batam Menggunakan Aplikasi HEC-RAS 2D

Analysis Of Inundation Area and Flood Height in the Superblock City Development Project in Batam Using the HEC-RAS 2D Application

Diana Rahayu¹⁾* Endang Purnama Dewi²⁾ Rady Purbakawaca³⁾ Sri Rahayu⁴⁾ Elviana⁵⁾
Irpan Chumaedi⁶⁾

^{1,6)} Program Studi Teknik Sipil, Institut Sains dan Teknologi Al Kamal
Jl. Raya Al Kamal no. 2, Jakarta Barat, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknologi Pertanian, Universitas Mataram
Jl. Majapahit no. 62, Mataram, Indonesia

³⁾ Program Studi Agroekoteknologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Raya Palka Km 3 Sindangsari, Banten, Indonesia

⁴⁾ Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Setiabudhi no. 229, Bandung, Indonesia

⁵⁾ Program Studi Teknologi Rekayasa Pengemasan, Politeknik Negeri Media Kreatif
Jl. Srengseng Sawah, Jakarta Selatan, Indonesia

*Corresponding author: dianarahayu@ista.ac.id

Diterima: 23 Januari 2025; Direvisi: 11 Maret 2025; Disetujui: 28 Januari 2026

Abstract

Floods are an annual disaster that disrupt public services and cause financial losses. Climate change and urbanization are the main factors contributing to increased rainfall which challenges the capacity of conventional drainage systems. The aim of writing this article is to analyze the depth, inundation area and flow direction in the superblock development plan using HEC-RAS 2D hydraulic modeling. The method used is to combine hydrological analysis, namely calculating the rainfall distribution using the Gumbel method, with hydraulic modeling. Hydrological analysis is conducted to calculate the frequency analysis of return periods and peak flood discharge. The return period rainfall using the Gumbel method for a 5-year return period (R5) is 212.921 mm. The flood discharge was calculated using the Rational method with catchment area 12.96 ha, resulting in $Q = 1.08 \text{ m}^3/\text{s}$. In calculating the Rational peak discharge, a rainfall intensity value is needed. The rain intensity required in the Rational method calculation uses the IDF curve to obtain a value of 100.6 mm/hour. The rain intensity value is then processed using an equation and the planned peak discharge is produced. Then peak flood discharge data is inputted and simulated using two-dimensional hydraulic modeling with HEC-RAS version 6.3.1 to obtain flood water surface profiles, inundation area and flow direction. The height of the flood inundation resulting from two-dimensional hydraulic modeling using HEC-RAS 6.3.1 is 42 cm, the inundation area is approximately inundation area is around 8.5 ha, and the flow direction during flooding is towards the east of the project site.

Keywords: flood inundation analysis, flood, HEC-RAS 2D modeling, hydraulic study, rational

Abstrak

Banjir merupakan bencana tahunan yang mengakibatkan gangguan pada pelayanan publik dan menimbulkan kerugian finansial. Perubahan iklim dan urbanisasi menjadi faktor utama dalam peningkatan curah hujan yang menguji kemampuan sistem drainase konvensional. Penulisan artikel ini bertujuan untuk menganalisis kedalaman, luas genangan, dan arah aliran banjir pada rencana kegiatan superblok menggunakan pemodelan hidraulik HEC-RAS 2D. Metode yang digunakan merupakan kombinasi antara analisis hidrologi yaitu perhitungan distribusi hujan metode Gumbel dengan pemodelan hidrolika. Analisis hidrologi yakni untuk menghitung analisis frekuensi periode kala ulang dan debit banjir puncak. Curah hujan kala ulang dengan metode Gumbel pada periode kala ulang 5 tahun (R5) bernilai 212,921 mm. Debit banjir dihitung dengan metode Rasional dengan luas daerah tangkapan air 12,96 ha, didapatkan hasil $Q = 1,08 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dalam menghitung debit puncak Rasional diperlukan nilai intensitas hujan. Intensitas hujan yang diperlukan dalam perhitungan metode Rasional menggunakan lengkung IDF sehingga didapatkan nilai 100,6 mm/jam. Nilai intensitas hujan kemudian diolah dengan persamaan dan dihasilkan debit rencana puncak tersebut. Kemudian data debit puncak banjir diinputkan dan disimulasikan dengan pemodelan hidraulika dua dimensi menggunakan HEC-RAS versi 6.3.1 untuk mendapatkan hasil profil muka air banjir, luas genangan, dan arah aliran. Adapun tinggi genangan banjir hasil pemodelan hidraulika dua dimensi menggunakan HEC-RAS versi 6.3.1 yakni 42 cm, luas wilayah genangan banjir sekitar 8,5 ha, dan arah aliran ketika terjadi banjir mengarah ke arah timur tapak proyek.

Kata Kunci: analisis genangan banjir, banjir, kajian hidrolika, pemodelan HEC-RAS 2D, rasional

PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam besar yang mengakibatkan korban jiwa dan kerugian ekonomi. Secara global, banjir bertanggung jawab atas banyaknya kematian dan kerugian finansial, dengan hampir setengah dari seluruh kematian dan sepertiga kerugian ekonomi akibat bencana alam terkait dengan banjir (Nkwunonwo et al., 2020). Banjir menimbulkan gangguan pada layanan penting dan merugikan masyarakat secara sosial dan ekonomi. Meningkatnya limpasan air yang diakibatkan oleh tingginya curah hujan (Sarif & Rauf, 2022). Selain itu, beberapa faktor lain yang menyebabkan banjir meliputi curah hujan, karakteristik daerah aliran sungai, kapasitas sungai untuk mengalirkan air banjir, perubahan tata guna lahan, serta pengelolaan sungai yang mencakup tata wilayah, pembangunan sarana dan prasarana, dan regulasi (Zhu et al., 2017). Ditambah dengan perubahan iklim di Indonesia yang menyebabkan musim tidak teratur seperti musim kemarau yang berkepanjangan dan curah hujan terus-menerus (Danang et al., 2019).

Perubahan iklim dan urbanisasi mengakibatkan peningkatan arus puncak di berbagai wilayah, sehingga menimbulkan tantangan dalam merancang sistem drainase akibat keterbatasan dana, biaya pemeliharaan, dan keterbatasan ruang (Starzec et al., 2023). Perkembangan kawasan superblok yang mengintegrasikan fungsi hunian (apartemen), komersial (hotel, shopping centre), dan sektor jasa dan perdagangan di Kota Batam (Indrastuti & Yunita, 2020) menjadi tren utama urbanisasi. Transformasi lahan menjadi kawasan terpadu ini, di satu sisi, mendorong efisiensi ekonomi, namun di sisi lain secara signifikan mengubah karakter hidrologi lahan.

Selain itu curah hujan yang lebih intens dan sering terjadi, menguji kemampuan sistem drainase sehingga menyebabkan air menumpuk di daerah rendah, dan masalah ini semakin buruk karena aktivitas manusia (Khaing Kyaw et al., 2024). Kegagalan sistem drainase perkotaan akibat curah hujan ekstrem telah menyebabkan kerusakan besar pada infrastruktur dan sistem sosial ekonomi di banyak kota. Simulasi banjir di daerah aliran sungai sangat penting untuk menilai dampak pembangunan perkotaan dan mengelola risiko banjir secara efektif (Hasan et al., 2019).

Dalam beberapa dekade terakhir, terjadi peningkatan dalam frekuensi dan intensitas banjir, yang mengharuskan pengembangan sistem peringatan dini (*Early Warning System*) yang lebih efektif untuk mengurangi dampak kerusakan

(Passerotti et al., 2020). Perlunya perkiraan banjir yang akurat, data ketinggian air dan curah hujan yang melimpah menjadi tantangan dalam sistem peringatan dini banjir (Wannachai et al., 2022). Model dugaan banjir *real-time* memerlukan data berkualitas tinggi, seperti curah hujan, drainase, dan karakteristik tangkapan air, untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Namun, akses ke data tersebut seringkali terbatas atau tidak tersedia karena keterbatasan waktu dan biaya tinggi untuk mengumpulkannya, terutama di daerah tangkapan air yang luas dan beragam yang membutuhkan banyak titik pengukuran (Starzec et al., 2023).

Strategi yang efektif untuk mengurangi risiko banjir sangat penting, dan pemodelan banjir memiliki peran utama dalam mengidentifikasi area yang rentan serta mendukung upaya mitigasi. Pemodelan banjir bisa rumit dan membutuhkan banyak daya komputasi, sehingga metode yang lebih sederhana sering digunakan, yang membuat asumsi tentang aliran air dan medan, yang mengarah ke persamaan standar yang membantu memprediksi dan menganalisis banjir (van den Bout et al., 2023). Analisis hidrologi digunakan untuk memprediksi debit air masuk, sementara analisis hidrolika menentukan kapasitas saluran dengan memperhatikan sifat hidrolika seperti jenis aliran. Pemodelan banjir mengubah curah hujan menjadi hidrograf banjir, yang membantu memprediksi kedalaman banjir. Model hidrodinamik sangat penting dalam menentukan area banjir dengan menggunakan persamaan hidrodinamika, sementara model hidrologi menyediakan data hidrograf yang krusial. Menggabungkan kedua model ini merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk meningkatkan akurasi prediksi banjir, terutama di wilayah perkotaan dengan topografi yang kompleks (Jha & Afreen, 2020).

Hydrological Engineering Center - River Analysis System merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk menganalisis berbagai permasalahan hidrolika, seperti memprediksi dan mengestimasi banjir, menganalisis kapasitas sungai, memantau kedalaman di berbagai lokasi sungai, serta menentukan lokasi yang tepat untuk pembangunan struktur air (Wijayanto & Helda, 2022). Perangkat lunak ini memungkinkan simulasi aliran tetap (*steady flow*) maupun aliran tidak tetap (*unsteady flow*) dalam model satu dimensi maupun dua dimensi (Iswardoyo & Satria, 2023). Dalam pemodelan ini, data yang perlu dimasukkan meliputi peta DEM, data penampang memanjang, penampang melintang, kondisi batas, koefisien Manning, dan debit banjir (Suryadi et al., 2022).

Banyak penelitian telah menggunakan model numerik 1D dan 2D untuk memetakan dataran banjir secara akurat dengan merepresentasikan hidrolika sungai dan dinamika genangan. Studi terbaru menyarankan penggunaan model 2D yang lebih rinci untuk meningkatkan akurasi analisis banjir dan menghindari kesalahan. Meskipun demikian, untuk studi skala besar, resolusi 50 m dianggap hemat biaya dan cukup akurat untuk simulasi 2D, karena model 1D tidak mampu menangkap dinamika banjir di seluruh dataran banjir (Shustikova et al., 2019). Sedangkan di Kota Batam belum banyak kajian mitigasi banjir perkotaan menggunakan pemodelan hidrolika.

Daerah Lokasi penelitian merupakan tempat yang akan direncanakan superblok, dimana kegiatan tersebut dapat meningkatkan volume dan kecepatan limpasan air hujan. Sementara itu, sistem drainase eksisting di sekitarnya seringkali tidak dirancang untuk menampung beban limpasan

tambahan yang bersifat terkonsentrasi dari kawasan semacam ini, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedalaman, luas genangan dan skenario perencanaan dimensi drainase dalam menanggulangi banjir menggunakan aplikasi HEC-RAS 2D dengan interval debit banjir periode ulang 5 tahunan (Q_5) yang merujuk manual drainase perkotaan didapat dari hasil perhitungan data hidrologi.

Peta situasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 merupakan peta dengan plotting lokasi studi yang berada di Kelurahan Belian, Kecamatan Batam Kota, Kota Batam dengan titik koordinat di titik (A) $x=11972,752$; $y=-6079,490$, titik (B) $x=11963,607$; $y=-6017,253$, titik (C) $x=11825,613$; $y= 6017,253$, titik (D) $x=11864,835$; $y=-5920,016$, titik (E) $x=11901,367$; $y=-5860,221$, titik (F) $x=11956,630$; $y=-6017,253$, titik (G) $x=12024,331$; $y=-5814,815$, dan titik (H) $x=12061,799$; $y=-6066,221$ (Survei lapangan, 2023).



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

METODOLOGI

Studi ini menggunakan analisis hidrologi skala regional sebagai langkah awal untuk deliniasi luas daerah tangkapan air untuk menghitung debit puncak rencana yang akan mengalir ke saluran. Dengan memanfaatkan dua indeks topografisebagai bagian dari analisisnya untuk menentukan arah aliran dan batas aliran air di lokasi studi. Setelah daerah tangkapan air berhasil dipetakan, debit puncak dihitung, kemudian dilakukan pemodelan hidraulik dengan HEC-RAS (Aksoy et al., 2016) dengan simulasi aliran *unsteady flow* pada batas hulu debit dan batas hilir kemiringan saluran.

Data Penelitian

1. Data Hujan
Data yang digunakan adalah data curah hujan maksimum harian. Nilai curah hujan

maksimum harian diperlukan untuk melakukan analisis hidrologi. Pada pekerjaan ini nilai curah hujan yang terukur diperoleh dari satu stasiun hujan, yaitu Stasiun BMKG Hang Nadim yang berjarak ± 4 km dari lokasi pengukuran. Nilai curah hujan maksimum harian dengan panjang data hujan 21 tahun selama 21 tahun terakhir di Sta. BMKG Hang Nadim ditampilkan pada Gambar 2 yang menunjukkan nilai hujan paling tinggi terdapat di tahun 2011.

2. Data Topografi

Data topografi dilakukan berdasarkan DEM untuk membuat batas-batas wilayah tangkapan air yang termasuk dalam area pekerjaan (batas wilayah aliran saluran) yang menggunakan peta elevasi hasil survei drone dengan ketelitian ± 7 cm sehingga diperoleh

data elevasi yang akurat di sekitar lokasi studi. Model Elevasi Digital (DEM) adalah representasi ketinggian permukaan bumi dalam format digital, merupakan salah satu sumber data yang digunakan untuk memperoleh informasi geometris saluran dan karakteristik medan wilayah yang dimodelkan (Pratiwi & Santosa, 2021).

3. Data Tutupan Lahan
Klasifikasi tutupan lahan didapat dari citra satelit *Google Earth* (Prasetya, 2024).
4. Dimensi Drainase Eksisting
Dimensi saluran drainase eksisting di sekitar lokasi dilakukan dengan meninjau dan mengukur langsung ke lokasi. Adapun kondisi drainase dapat dilihat pada Gambar 3.

Metode Penelitian

Metode penelitian dibagi ke dalam beberapa tahap, yaitu:

- a. Persiapan
Dimulai dengan mengumpulkan dan memfilter literatur-literatur yang memiliki kesesuaian konsep dengan penelitian yang dilakukan
- b. Pengumpulan data
Survei lapangan untuk mendapatkan data primer berupa pengukuran dimensi saluran drainase eksisting, informasi titik genangan yang berasal dari masyarakat sekitar dan tutupan lahan di sekitar lokasi studi; dan pengumpulan data sekunder seperti data curah hujan dari pos hujan Hang Nadim, data topografi (DEM), dan citra satelit *Google Earth pro*.
- c. Delineasi batas aliran air
Menentukan kondisi hidrologis di lokasi penelitian dapat diketahui melalui dua hal utama. Pertama, batas-batas aliran air yang berada dalam area pekerjaan (batas wilayah aliran saluran). Data masukan yang andal dan akurat sangat penting dalam pemodelan aliran untuk hasil yang terpercaya, sementara pemodelan hidraulik memerlukan ketepatan topografi yang tinggi (Xafoulis et al., 2022). Untuk mengetahui batas daerah saluran diperlukan beberapa layer peta agar memperoleh hasil yang akurat. Layer-layer peta yang digunakan adalah; peta Digital Terrain Model (DTM) yang diperoleh dari hasil pengolahan data fotogrametri berbasis drone menggunakan perangkat lunak drone deploy. DTM memiliki resolusi spasial tinggi sehingga representasi kondisi topografi elevasi lahan lebih akurat. Peta citra satelit *Google Earth*

(Tahun pencitraan 2023), dimanfaatkan sebagai referensi visual awal untuk identifikasi lokasi dan klasifikasi umum tutupan lahan. Kemudian peta orthomosaic memberikan tingkat ketelitian spasial tinggi sehingga memudahkan dalam menentukan delineasi area tangkapan air.

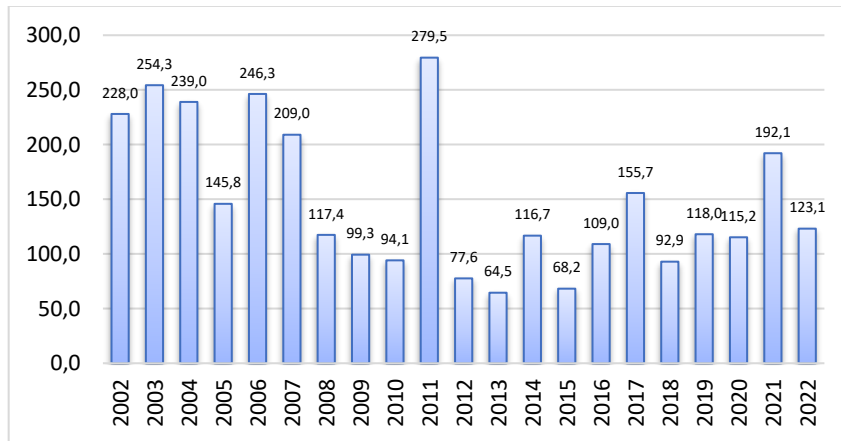
- d. Analisis klasifikasi tutupan lahan
Akurasi yang memadai dalam klasifikasi tutupan lahan dapat dicapai dengan menggunakan metode analisis yang memanfaatkan citra satelit *Google Earth Pro* (Prasetya, 2024), dengan mengetahui jenis tutupan lahan di lokasi maka dapat diidentifikasi nilai koefisien limpasan. Rentang nilai koefisien limpasan antara 0 - 1 (Muhammad Yusuf et al., 2021).
- e. Pengolahan data Hidrologi (Hujan Rencana dan debit banjir)
Penentuan besaran hujan rencana membutuhkan data hujan jangka pendek. Jika data tersebut tidak tersedia, dapat digunakan data hujan harian maksimum. Data ini kemudian dianalisis menggunakan berbagai distribusi frekuensi (Fairizi et al., 2015), setelah dilakukan pengujian sebaran menggunakan Smirnov-Kolmogorov terpilih distribusi Gumbel. Data curah hujan harian maksimum selama 21 tahun dihitung analisis frekuensinya untuk menghasilkan nilai curah hujan rencana.

Adapun persamaan untuk menghitung distribusi hujan dengan metode Gumbel seperti yang dapat dilihat pada persamaan.

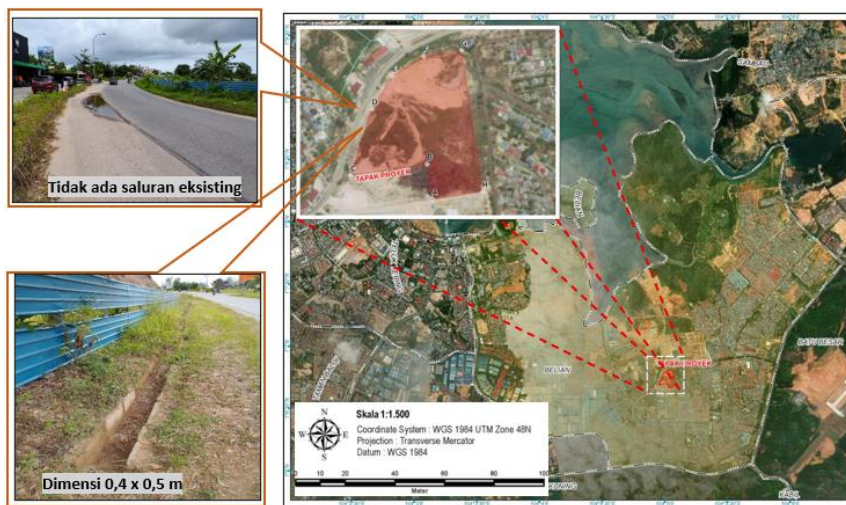
$$X_T = \bar{X} + \frac{Sd}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- X_T : Nilai besarnya curah hujan rencana periode ulang (mm)
- X : Rata-rata tahunan data seri debit banjir sesaat (mm)
- S_x : Simpangan baku (mm)
- n : Jumlah banyaknya data (tahun)
- Y_T : *Reduced variable*, parameter Gumbel untuk untuk periode T tahun (Tabel)
- Y_n : *Reduced mean*, merupakan fungsi dari banyaknya data (n) (Tabel)
- S_n : *Reduced standar deviasi*, merupakan fungsi dari banyak data (n) (Tabel)



Gambar 2 Grafik curah hujan maksimum harian stasiun Hang Nadim (2002-2022)



Gambar 3 Kondisi Saluran Drainase Eksisting

Metode Rasional sering digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang dihasilkan oleh hujan lebat di daerah tangkapan air (DAS) kecil. Metode ini dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dan intensitas curah hujan, dan secara praktis diterapkan pada DAS dengan luas kurang dari 300 hektar (Muhammad Yusuf et al., 2021). Tiga komponen yang harus ada pada perhitungan ini adalah waktu konsentrasi (t_c), koefisien limpasan (c), dan intensitas curah hujan (i) (Standar Nasional Indonesia, 2016).

$$Q = 0,278 \times C * I * A \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- C : koefisien limpasan
- I : Intensitas hujan selama waktu konsentrasi
- A : luas daerah aliran (km^2)
- Q : debit banjir (m^3/s)

Untuk penentuan kala ulang banjir yang digunakan adalah kala ulang 5 tahun (probabilitas 20% debit terjadi dalam satu tahun, sesuai dengan desain saluran samping pada Manual Bina Marga Tahun 2005, standar ini menyediakan metode

perhitungan hidrologi-hidrolika dan parameter teknis rinci untuk mengevaluasi kapasitas saluran secara kuantitatif. Adapun untuk menghitung waktu konsentrasi hujan dihitung dengan menggunakan persamaan Kirpich (1940) (Somi et al., 2020).

$$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

- t_c : waktu konsentrasi (menit)
- L : panjang saluran (m)
- S : kemiringan = $\Delta H/L$

Dalam menghitung intensitas hujan, karena data sekunder yang digunakan merupakan data hujan harian maka akan digunakan metode Mononobe (Rakhmawati, 2024).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t : Durasi hujan (jam)
- R_{24} : Curah hujan maksimum harian (mm)

f. Simulasi Banjir Pemodelan HEC-RAS 2D
 Pemodelan banjir merupakan langkah fundamental dalam pengendalian banjir untuk mengidentifikasi kawasan yang rawan terdampak. Pendekatan ini memungkinkan perencana untuk memperkirakan area genangan atau limpasan aliran sungai. Salah satu metode yang umum digunakan adalah pemodelan hidrolika dengan software HEC-RAS. HEC-RAS digunakan untuk menemukan ketinggian air dan membantu memprediksi banjir (Zeleňáková et al., 2019). Simulasi HEC-RAS menawarkan dua opsi dimensi, yakni model 1-D yang lebih efisien secara komputasi namun memiliki keterbatasan, serta model 2-D yang digunakan untuk menghasilkan simulasi banjir dengan tingkat akurasi lebih tinggi.

Perangkat lunak HEC-RAS yang dikembangkan oleh US Army Corps of Engineers digunakan untuk simulasi aliran tetap dan tidak tetap pada sistem satu dan dua dimensi, khususnya dalam analisis hidraulika dan banjir. Sejak versi 6.1, HEC-RAS mendukung pemodelan fluida *non-Newtonian* yang disempurnakan pada versi 6.3, sehingga mampu mensimulasikan aliran berkonsentrasi tinggi seperti lumpur dan debris (Iswardoyo, 2023).

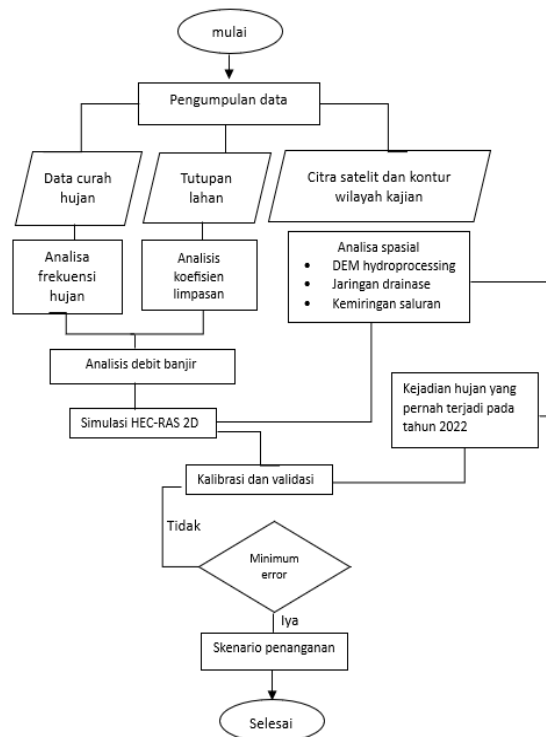
Untuk mengetahui tinggi muka air banjir rona eksisting terhadap kondisi drainase sekitar digunakan pemodelan hidrolis dengan

software HEC-RAS 6.3.1. Adapun tahapan dalam pemodelan banjir secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Generate DEM hasil olahan drone lalu import menjadi terrain di HEC-RAS.
- Import SHP saluran sebagai referensi dalam pembuatan geometri model.
- Lakukan validasi dimensi jika diperlukan untuk menghindari adanya perbedaan dimensi di terrain dan di lapangan.
- Running model dengan data debit yang telah dihitung sebelumnya. Model 2D menggunakan resolusi mesh 50 x 50 m untuk lahan dan 1 x 1 m untuk saluran Computational time step trial and error sampai mencapai kriteria stabilitas seperti yang dapat dilihat dari kecepatan aliran yang logis dan stabil, kemudian visual genangan.

g. Erifikasi Output pemodelan
 Hasil pemodelan perlu diverifikasi dengan membandingkan visualisasi yang dihasilkan dan data pengukuran langsung di lapangan agar diperoleh hasil yang valid. Secara garis besar tahapan penelitian yang dilaksanakan bisa dilihat pada Gambar 4.

h. Skenario penanganan banjir dengan mensimulasikan dimensi drainase rencana sebagai langkah menanggulangi banjir di lokasi pengukuran.



Gambar 4 Diagram alir penelitian

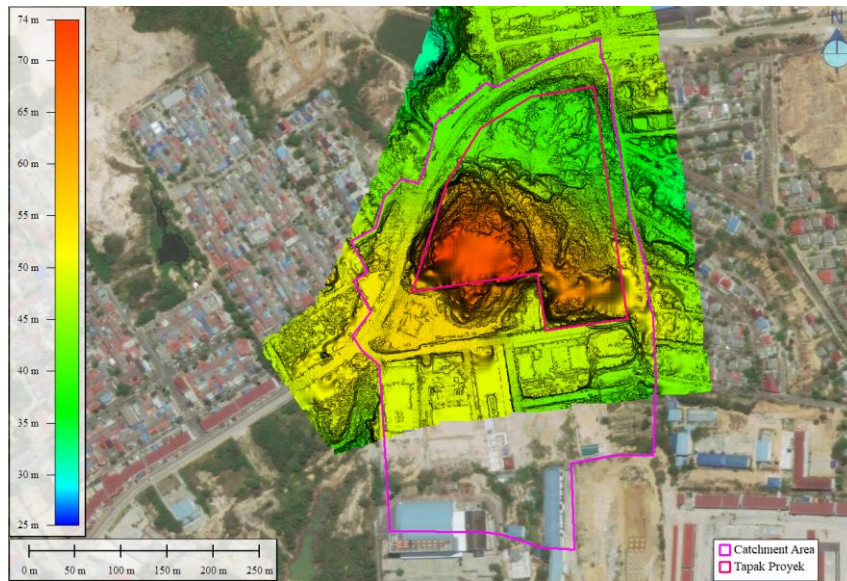
HASIL DAN PEMBAHASAN

Delineasi Batas Aliran Air

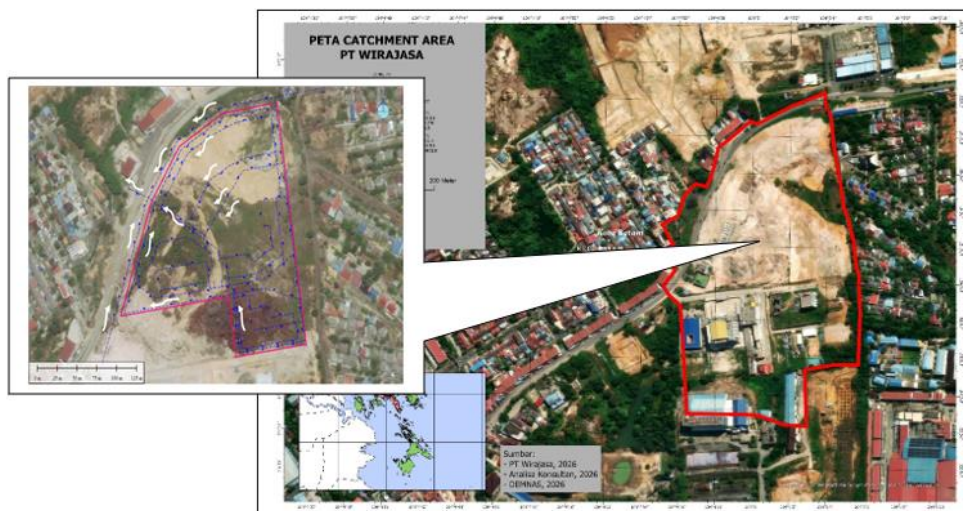
Luas daerah tangkapan air lokasi pengukuran berdasarkan data topografi mencakup panjang saluran dan kemiringan saluran, yang merupakan parameter penting yang mempengaruhi kecepatan aliran air.

Peta elevasi lokasi pengukuran yang sudah didapatkan dari pengukuran drone kemudian diolah ke dalam Global Mapper yang di-generate arah aliran air sehingga bisa diidentifikasi bagian

hulu dan hilir saluran seperti pada Gambar 5, selanjutnya didapatkan peta batas aliran air di sekitar lokasi pengukuran. Dari hasil pemetaan, arah aliran bergerak secara gravitasi menuju titik outlet yang dipusatkan pada jalur drainase di seberang jalan besar lokasi pengukuran. Gambar 6 menunjukkan arah aliran di sekitar lokasi dan delineasi wilayah tangkapan air. Dari hasil analisis spasial tersebut dapat diketahui batas daerah saluran di wilayah kajian adalah seluas 12,96 Ha atau 0,1296 km². Panjang saluran 266 m dan kemiringan saluran 0,0489 m/m.



Gambar 5 Peta elevasi (DTM) hasil survei drone



Gambar 6 Sub DAS di Lokasi Studi dan Arah Aliran Menuju Outle

Pengolahan Data Hidrologi

Frekuensi curah hujan untuk menghitung curah hujan rencana dengan periode ulang 2, 5, 10, dan 25 tahun (Rauf, 2021). Dalam pengukuran ini digunakan distribusi hujan dengan metode Gumbel pada periode ulang 5 tahun (R5) untuk curah hujan rancangan. Data yang dianalisis pada pengolahan ini hanya hujan saja tanpa mempertimbangkan adanya *backwater* dan elevasi muka air tanah di lokasi.

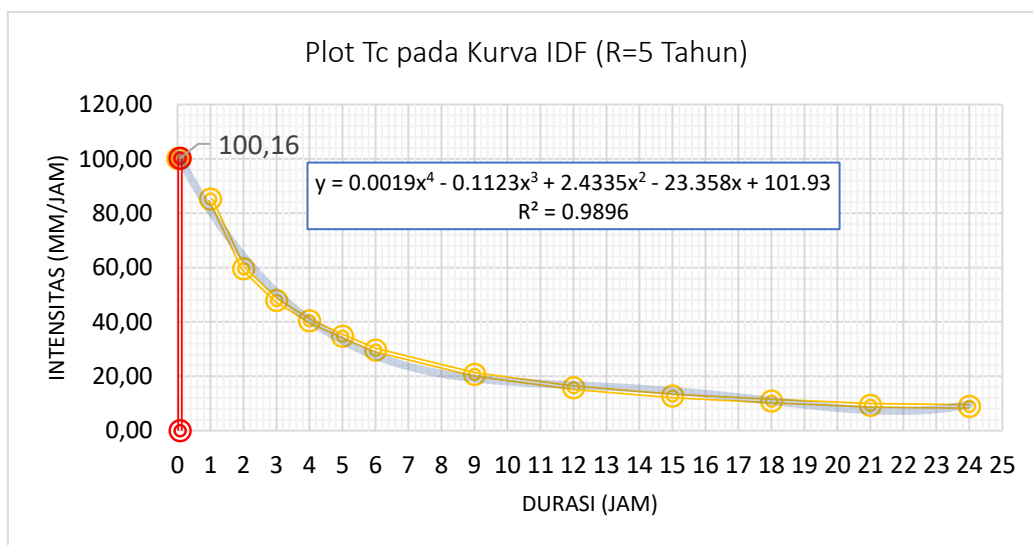
Data curah hujan lalu diurutkan dari nilai tertinggi dan dihitung dengan persamaan Gumbel. Karena jumlah data yang terkumpul adalah (n) 21 tahun maka nilai faktor reduksi $S_n = 1,06$ dan $Y_n = 0,52$ dan untuk nilai Y_t dan curah hujan rencana pada setiap periode kala ulang dipaparkan pada tabel 5. Setelah distribusi yang akan digunakan ditetapkan, perhitungan intensitas hujan dapat dilakukan (Suryadi et al., 2022). Sebelum menghitung debit banjir, perlu dihitung nilai intensitas hujan dengan metode kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF). Analisis IDF dapat dimanfaatkan untuk memprediksi debit puncak pada wilayah tangkapan kecil. Hujan lebat

berdurasi pendek dengan intensitas tinggi yang terjadi di berbagai lokasi dalam area tangkapan dapat terpusat pada titik kontrol tertentu secara bersamaan, sehingga menghasilkan debit puncak.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Curah Hujan Metode Gumbel

Periode Ulang	S_n	Y_n	Y_t	Curah Hujan (mm)
R2	10,69	0,52	0,36	141,18
R5	10,69	0,52	14,99	212,92
R10	10,69	0,52	22,50	260,40
R25	10,69	0,52	31,98	320,42
R50	10,69	0,52	39,01	364,94
R100	10,69	0,52	46	409,13

Untuk bisa menghitung Intensitas hujan perlu dihitung lebih dulu waktu konsentrasi hujan yang dihitung dengan rumus Kirpich dan didapat nilai t_c 0,08 jam, sehingga nilai intensitas hujan untuk kala ulang 5 tahun didapat nilai 100,16 mm/jam dengan menggunakan metode Mononobe. Grafik plot T_c pada kurva IDF dengan periode ulang 5 tahun (R5) ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Plotting kurva IDF (R5)

Karena luas lahan rencana kegiatan yang didapat dari hasil deliniasi batas aliran air adalah 12,96 hektar dengan kala ulang 5 tahun sesuai dengan desain saluran samping pada Manual Bina Marga Tahun 2005. Nilai koefisien aliran (C) diambil berdasarkan analisis klasifikasi lahan menggunakan *Google Earth* (Prasetya, 2024), dimana tutupan lahan didominasi oleh lahan dataran hijau dengan persentase 85% atau sekitar 0 ha, sedangkan sisanya merupakan lahan lapangan

seperti yang terlihat pada Gambar 8, dengan demikian karena tata guna lahan di lokasi pengukuran berupa tanah kosong bervegetasi (Sains et al., 2020), maka perhitungan debit puncak banjir adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 0.278 \times C \times I \times A \\
 &= 0.278 \times 0.3 \times 100.16 \times 0.1296 \\
 &= 1.08 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$



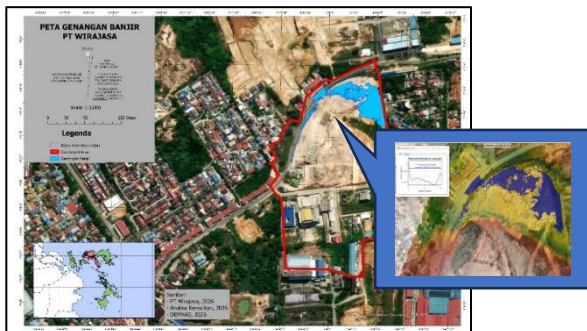
Gambar 8 Kondisi Lahan di Lokasi

Hasil perhitungan puncak debit tersebut kemudian digunakan sebagai data aliran masukan untuk pemodelan sebaran banjir.

Simulasi Pemodelan Banjir

Simulasi dilakukan pada kala ulang (Q5) menggunakan software HEC-RAS dengan skema simulasi analisa *unsteady flow*. DTM yang dioverlaykan dengan DEMNAS digunakan untuk pembuatan geometri dan debit yang diinput. Pendekatan pemodelan dua dimensi digunakan sebagai pengembangan dari metode satu dimensi untuk memperoleh representasi aliran debris yang lebih akurat dan realistis terhadap topografi. Dengan mempertimbangkan keunggulan dan keterbatasan masing-masing pendekatan, pemodelan dua dimensi secara penuh dipandang paling sesuai untuk menganalisis dampak banjir pada kawasan permukiman (Iswardoyo & Satria, 2023). Simulasi HEC-RAS 2D dimanfaatkan untuk memprediksi tingkat banjir yang tidak dapat ditampilkan dalam simulasi 1D.

Berdasarkan hasil survei lapangan dan informasi dari masyarakat sekitar diketahui bahwa di sekitar Lokasi pengukuran adalah lokasi rawan banjir. Dimana penyebab dari banjir ini setidaknya dikarenakan tiga hal, yaitu lokasi yang berada dalam cekungan, belum adanya saluran drainase yang memadai, dan curah hujan tinggi yang tidak diimbangi dengan kapasitas saluran yang ada. Jika ditarik garis elevasi dari point A ke B (lihat Gambar 9) maka akan terlihat bahwa lokasi rawan banjir



Gambar 9 Peta luas genangan banjir di sekitar lokasi studi

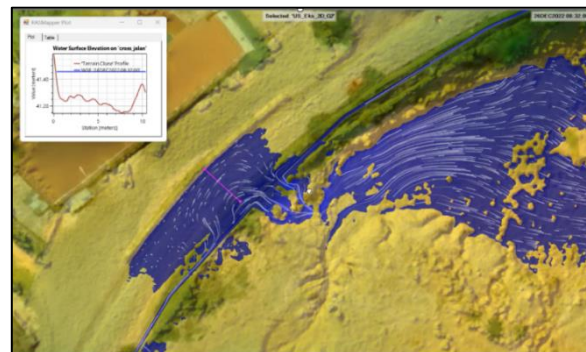
merupakan cekungan yang mana dari selatan ke utara, kemiringannya sekitar $\pm 8\%$, sedangkan dari arah utara ke selatan kemiringannya $\pm 3\%$. Dengan kondisi tersebut maka lokasi sebelah barat lokasi pengukuran menjadi rawan akan terjadi banjir.

Hasil pemodelan dengan syarat batas yang digunakan debit banjir Q5 analisis hidrologi dan data geometri saluran yang didapatkan dari RAS Mapper di dapat hasil pemodelan total luas wilayah yang tergenang adalah 8,5 ha dengan ketinggian banjir rata-rata 42 cm. Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi pemodelan banjir dengan kala ulang 5 tahunan, dari gambar 10 dapat dilihat bahwa arah aliran ketika banjir banyak masuk kedalam lokasi rencana proyek superblok (ke arah timur). Hal tersebut mengganggu kelancaran lalu lintas di sekitar lokasi karena sebagian air yang melimpas ke lahan menggenangi jalan raya di sekitarnya, sehingga perlu adanya penentuan keputusan agar banjir bisa teratasi, seperti mendesain ulang saluran drainase yang mampu menampung debit puncak banjir.

Kalibrasi dan Validasi Analisis

Kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi HEC-RAS 2D dengan kondisi aktual di lapangan yang diperoleh melalui dokumentasi selama survei. Berdasarkan hasil pengamatan, limpasan pada saluran terjadi dari bagian hulu hingga hilir akibat kapasitas saluran yang tidak mampu menampung debit aliran yang terjadi.

Verifikasi luas genangan banjir dilakukan dengan mengidentifikasi sisa genangan pada sempadan jalan serta genangan-genangan kecil yang masih terlihat di lokasi pengukuran saat survei lapangan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa luas genangan kejadian banjir mencapai sekitar ± 8 ha, sedangkan hasil simulasi untuk kala ulang 5 tahunan menghasilkan luas genangan sekitar $\pm 8,5$ ha, sehingga model dinilai mampu merepresentasikan kejadian banjir yang terjadi di lapangan secara memadai.



Gambar 10 zoom in arah aliran banjir



Gambar 11 Genangan di Jalan dan di Lokasi Pengukuran

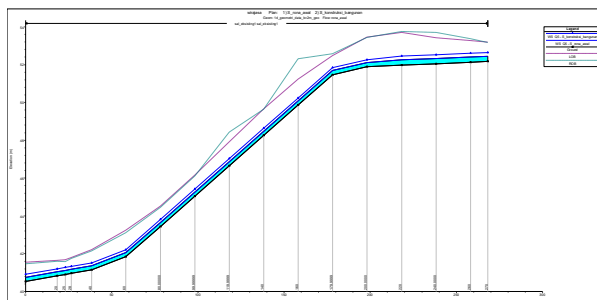
Skenario Penanganan Banjir

Genangan banjir yang terjadi di lokasi pengukuran diakibatkan adanya sistem jaringan drainase yang tidak terintegrasi dengan baik dan kapasitas drainase eksisting yang tidak memadai, sehingga perlu adanya perencanaan dimensi drainase yang dapat menampung debit banjir agar genangan bisa dikendalikan.

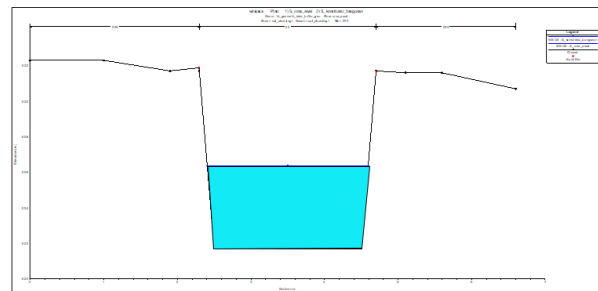
Hal yang dapat dilakukan adalah mengubah dimensi drainase eksisting (lebar 40 cm dan tinggi 50 cm) menjadi 1,5 m x 2 m.

Pada Gambar 12 ditunjukkan potongan memanjang hasil simulasi setelah dilakukan perubahan dimensi saluran drainase pada lokasi pengukuran, di mana hal tersebut dapat mengurangi limpasan dengan efektif.

Menurut (Limbong & Wulandari, 2024) ada dua pendekatan dalam pengendalian banjir mencakup metode struktural, yang bertujuan meminimalkan wilayah dan tinggi genangan. Langkah-langkah struktural seperti meninggikan tanggul dan meningkatkan kapasitas drainase. Bisa juga dengan langkah non-struktural seperti pengendalian penggunaan lahan dan sistem peringatan dini, dengan keduanya memiliki strategi yang efektif untuk mengurangi dampak banjir. (Yildirim & Demir, 2021). Tujuan Pembangunan Berkelanjutan ke-13, yaitu aksi iklim, menekankan pentingnya upaya pengurangan risiko bencana, penerapan sistem peringatan dini, dan penguatan ketahanan (Nharo et al., 2019).



(a)



(b)

Gambar 12 Potongan memanjang hasil simulasi saluran (a)

Potongan melintang pada bagian hilir saluran (b)

KESIMPULAN

Dari hasil deliniasi batas aliran air dengan DEM didapat luas 12.96 Ha dengan Panjang saluran 266 m dan kemiringan saluran 0,0489 m/m. Sedangkan untuk Analisis Hidrologi, nilai curah hujan kala ulang 5 Tahun (R5) menggunakan distribusi hujan Gumbel sebesar 212,92 mm dengan nilai t_c 0,08 jam dan intensitas hujan menggunakan metode IDF menghasilkan nilai 100,16 mm/jam. Hasil perhitungan tersebut kemudian kembali dihitung kedalam persamaan Rational, yaitu untuk menghitung debit puncak banjir. Didapat 1,08 m³/detik untuk debit puncak periode ulang lima tahun (Q5).

Hasil analisis Hidrologi tersebut kemudian menjadi data input untuk simulasi pemodelan HEC-RAS selain data geometri saluran. Setelah dilakukan simulai besaran banjir di Lokasi pengukuran dengan HEC-RAS 2D didapatkan tinggi genangan banjir sekitar 42 cm diatas jalan dengan luasan total genangan banjir melingkupi sekitar 8.5 Ha wilayah pengukuran.

Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan menghubungkan jaringan saluran drainase jalan raya di sebelah Barat lokasi dan membuat drainase dengan dimensi 1,5 m untuk lebar dan 2 m untuk tinggi. Hal tersebut dapat menanggulangi genangan di lokasi dengan efektif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada PT Wirajasa Propertindo Utama yang sudah bersedia untuk membantu data-data.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksoy, H., Kirca, V. S. O., Burgan, H. I., & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 373, 137–141. <https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016>
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 2415:2016: Tata cara perhitungan debit banjir rencana*. Badan Standardisasi Nasional.
- Danang, D., Suwardi, S., & Hidayat, I. A. (2019). Mitigasi bencana banjir dengan sistem informasi monitoring dan peringatan dini bencana menggunakan microcontroller Arduino berbasis IoT. *Teknik*, 40(1), 55–60. <https://doi.org/10.14710/teknik.v40n1.23342>
- Fairizi, D., & Negara, J. S. (2015). Analisis dan evaluasi saluran drainase pada kawasan Perumnas Talang Kelapa di Sub DAS Lambidaro Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 3(1).
- Farida, A., & Aryuni, V. T. (2020). Analisis limpasan permukaan di sekitar Kampus Universitas Muhammadiyah Sorong, Kota Sorong. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 12(2), 146–161. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol12.iss2.art6>
- Hasan, H. H., Razali, S. F. M., Zaki, A. Z. I. A., & Hamzah, F. M. (2019). Integrated hydrological-hydraulic model for flood simulation in tropical urban catchment. *Sustainability*, 11(23), Article 6700. <https://doi.org/10.3390/su11236700>
- Indrastuti, & Yunita. (2020). Analisis sistem drainase terhadap genangan (banjir) di Kota Batam (studi kasus: Jalan Duyung, Kecamatan Batu Ampar). *Journal of Civil Engineering and Planning*, 1(2).
- Iswardoyo, J., & Satria, H. (2023). Analisis daerah terdampak banjir bandang menggunakan HEC-RAS 2 dimensi di Sungai Sat, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(1), 13–26. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i1.717>
- Jha, M. K., & Afreen, S. (2020). Flooding urban landscapes: Analysis using combined hydrodynamic and hydrologic modeling approaches. *Water*, 12(7), Article 1986. <https://doi.org/10.3390/w12071986>
- Khaing Kyaw, K., Baietti, E., Lussana, C., Luzzi, V., Mazzoli, P., Bagli, S., & Castellarin, A. (2024). Private sensors and crowdsourced rainfall data: Accuracy and potential for modelling pluvial flooding in urban areas of Oslo, Norway. *Journal of Hydrology X*, 25, Article 100191. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2024.100191>
- Limbong, B. J. F., & Wulandari, D. A. (2024). The study of levee flood control at Pengkol River–Meteseh, Tembalang Sub-District, Semarang City. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 15(1), 47–60. <https://doi.org/10.32679/jth.v15i1.773>
- Yusuf, R. M., Suganda, B. R., Barkah, M. N., & Arfiansyah, K. (2021). Analisis debit banjir dengan membandingkan nilai debit banjir metode rasional dan kapasitas debit aliran sungai pada Sub DAS Ciwaringin, Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(4), 424–432.
- Nharo, T., Makurira, H., & Gumindoga, W. (2019). Mapping floods in the Middle Zambezi Basin using earth observation and hydrological modeling techniques. *Physics and Chemistry of the Earth*, 114, Article 102808. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002>
- Nkwunonwo, U. C., Whitworth, M., & Baily, B. (2020). A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in developing countries. *Scientific African*, 7, Article e00269. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269>
- Passerotti, G., Massazza, G., Pezzoli, A., Bigi, V., Zsótér, E., & Rosso, M. (2020). Hydrological model application in the Sirba River: Early warning system and GloFAS improvements. *Water*, 12(3), Article 620. <https://doi.org/10.3390/w12030620>
- Prasetya, F. A. (2024). Analisis spasial-temporal perubahan penggunaan lahan akibat pembangunan Bandara Internasional Dhoho Kediri berbasis data Google Earth. *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, 8(1), 65–74. <https://doi.org/10.29408/geodika.v8i1.25731>
- Pratiwi, Z. N., & Santosa, P. B. (2021). Pemodelan banjir dan visualisasi genangan banjir untuk mitigasi bencana di Kali Kasin, Kota Malang. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(1), 56. <https://doi.org/10.22146/jgise.56525>
- Rakhmawati, G. (2024). Analisis intensitas curah hujan dan kurva IDF (intensity–duration–frequency) metode Mononobe di Kota Salatiga. *Jurnal Ilmiah Teknik (JUIT)*, 3(3), 1–11. <https://doi.org/10.56127/juit.v3i3.1641>
- Rauf, I. (2021). Analisis spasial tingkat bahaya banjir Desa Amasing Kali dengan HEC-RAS 2D. *Jurnal*

- Teknik*, 19(2), 107–119.
<https://doi.org/10.37031/jt.v19i2.188>
- Sarif, M., & Rauf, I. (2022). Kajian simulasi banjir Desa Doro dengan aplikasi HEC-RAS 2D. *Clapeyron: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 3(2), 48–60.
- Shustikova, I., Domeneghetti, A., Neal, J. C., Bates, P., & Castellarin, A. (2019). Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography. *Hydrological Sciences Journal*, 64(14), 1769–1782.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1671982>
- Somi, N., & Asih, A. S. (2020). Analisis hidrologi dan hidrolika pada saluran drainase Ambarukmo Plaza menggunakan program HEC-RAS. *Equilib*, 1(1), 141–151.
- Starzec, M., Kordana-Obuch, S., & Styś, D. (2023). Assessment of the feasibility of implementing a flash flood early warning system in a small catchment area. *Sustainability*, 15(10), Article 8316. <https://doi.org/10.3390/su15108316>
- Suryadi, R., Putranto, D. D. A., & Juliana, I. C. (2022). Analisis 1D–2D genangan banjir pada kawasan Perumahan Baturaja Permai, Kecamatan Baturaja Timur. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 11(1), 39–48.
<https://doi.org/10.35139/cantilever.v11i1.115>
- van den Bout, B., Jetten, V. G., van Westen, C. J., & Lombardo, L. (2023). A breakthrough in fast flood simulation. *Environmental Modelling & Software*, 168, Article 105787.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105787>
- Wannachai, A., Aramkul, S., Suntaranont, B., Somchit, Y., & Champrasert, P. (2022). HERO: Hybrid effortless resilient operation stations for flash flood early warning systems. *Sensors*, 22(11), Article 4108.
<https://doi.org/10.3390/s22114108>
- Wijayanto, M. R., & Helda, N. (2022). Aplikasi program HEC-RAS 5.0.7 untuk pemodelan banjir di Sub-sub DAS Martapura, Kabupaten Banjar. *Serambi Engineering*, 7(4).
- Xafoulis, N., Farsiroto, E., Kotsopoulos, S., & Alamanis, N. (2022). Flood hazard assessment in a mountainous river basin in Thessaly, Greece, based on 1D/2D numerical simulation. *Energy Nexus*, 8, Article 100142.
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100142>
- Yildirim, E., & Demir, I. (2021). An integrated flood risk assessment and mitigation framework: A case study for Middle Cedar River Basin, Iowa, USA. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, Article 102113.
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102113>
- Zeleňáková, M., Fijko, R., Labant, S., Weiss, E., Markovič, G., & Weiss, R. (2019). Flood risk modelling of the Slatvinec Stream in Kružlov Village, Slovakia. *Journal of Cleaner Production*, 212, 109–118.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.008>
- Zhu, Y., Lin, Z., Zhao, Y., Li, H., He, F., Zhai, J., Wang, L., & Wang, Q. (2017). Flood simulations and uncertainty analysis for the Pearl River Basin using the coupled land surface and hydrological model system. *Water*, 9(6), Article 391.
<https://doi.org/10.3390/w9060391>