

SPATIAL-MORPHOLOGICAL ANALYSIS TERHADAP KERENTANAN BANJIR PADA PERMUKIMAN PADAT BANTARAN SUNGAI KAMPUNG AUR, KOTA MEDAN

Anggri Kartini Harianja^{1*}, Paula Bungaisi Panjaitan¹, I Gede Wyana Lokantara¹, Zhilli Izzadati¹

¹Program Studi Arsitektur, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, Indonesia

Penulis Korespondensi: anggri.5243560008@mhs.unimed.ac.id

Article Info	Abstrak
Article History <i>Received: 06 Mei 2026</i> <i>Revised: 18 Mei 2026</i> <i>Published: 30 Juni 2026</i>	Kerentanan banjir di kawasan permukiman padat perkotaan semakin meningkat akibat interaksi antara faktor hidrologi dan tekanan urbanisasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial kerentanan banjir di Kampung Aur, Kota Medan, dengan mengintegrasikan variabel lingkungan dan morfologi permukiman. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) untuk menentukan bobot variabel, yang kemudian diolah melalui teknik <i>weighted overlay</i> guna menghasilkan indeks kerentanan banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerentanan tinggi terkonsentrasi pada kawasan bantaran sungai dengan kepadatan bangunan ekstrem, jarak bangunan terhadap sungai yang sangat dekat, serta sistem drainase yang tidak optimal. Curah hujan dan kedekatan terhadap sungai menjadi faktor dominan, sementara morfologi permukiman berperan sebagai penguat yang meningkatkan limpasan permukaan dan memperburuk dampak banjir. Temuan ini menegaskan bahwa kerentanan banjir tidak hanya ditentukan oleh faktor alami, tetapi juga oleh struktur ruang kawasan yang tidak adaptif. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan pendekatan analisis kerentanan berbasis spasial-morfologis sebagai dasar perencanaan hunian adaptif dan mitigasi bencana perkotaan.
Keywords <i>Adaptasi Hunian;</i> <i>Analisis Spasial;</i> <i>Kerentanan Banjir;</i> <i>Morfologi Permukiman;</i> <i>Mitigasi Bencana;</i>	

PENDAHULUAN

Banjir perkotaan menjadi salah satu bentuk bencana hidrometeorologi yang semakin kompleks yang disebabkan oleh interaksi antara perubahan iklim dan tekanan urbanisasi yang intensif. Peningkatan curah hujan ekstrem yang dipicu oleh variabilitas iklim global telah memperbesar frekuensi dan intensitas kejadian banjir di berbagai kota, khususnya di kawasan tropis (Ouma & Tateishi, 2014). Di sisi lain, ekspansi perkotaan yang tidak terkendali telah mengubah karakteristik hidrologi alami melalui konversi lahan terbuka menjadi permukaan kedap air, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi dan meningkatkan limpasan permukaan secara signifikan. Kondisi ini menyebabkan sistem drainase perkotaan semakin terbebani dan memperbesar potensi genangan pada kawasan hunian padat (Nsangou, et al., 2022).

Melalui sudut pandang masalah konteks perkotaan yang terjadi pada negara berkembang, permasalahan tentang banjir tidak hanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tetapi juga oleh dinamika morfologi permukiman yang berkembang secara informal dan tidak terencana (Kader et al., 2024). Permukiman padat di bantaran sungai menjadi salah satu bentuk spasial yang paling rentan terhadap banjir, karena berada pada zona dengan tingkat paparan tinggi serta memiliki keterbatasan infrastruktur dan ruang terbuka (Marpaung and Sembiring, 2019). Karakteristik morfologi seperti kepadatan bangunan ekstrem, minimnya ruang terbuka hijau, serta keterbatasan

sistem sirkulasi dan drainase memperkuat tingkat kerentanan kawasan terhadap dampak banjir (Lokantara et al., 2026). Dengan demikian, kerentanan banjir di kawasan perkotaan tidak hanya merupakan hasil dari faktor hazard, tetapi juga dipengaruhi secara signifikan oleh struktur ruang dan kualitas lingkungan binaan.

Terkait dengan penelitian sebelumnya yang telah mengembangkan pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk memetakan kerentanan banjir melalui integrasi variabel lingkungan seperti curah hujan, topografi, dan penggunaan lahan. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) juga banyak digunakan untuk menentukan bobot relatif antar variabel dalam analisis risiko bencana secara sistematis. Perlu dicermati bahwa sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada dimensi fisik dan lingkungan, dengan keterbatasan dalam mengintegrasikan aspek morfologi permukiman dan aksesibilitas spasial sebagai bagian dari sistem kerentanan. Padahal, dalam konteks permukiman padat perkotaan, konfigurasi ruang dan jaringan sirkulasi memiliki peran penting dalam menentukan tingkat paparan, kapasitas adaptasi, serta efektivitas evakuasi saat bencana terjadi (Pimenta et al., 2026).

Kampung Aur yang berada di Kecamatan Medan Maimun, Kota Medan, menjadi salah satu contoh kawasan permukiman padat yang berkembang di bantaran Sungai Deli dengan tingkat kerentanan terhadap banjir yang tinggi. Kawasan ini ditandai oleh kepadatan bangunan yang sangat tinggi, okupasi lahan hingga ke sempadan sungai, serta keterbatasan sistem drainase dan ruang terbuka. Selain itu, pola sirkulasi yang sempit dan terfragmentasi memperburuk aksesibilitas kawasan, sehingga meningkatkan risiko bagi keselamatan masyarakat saat terjadi banjir. Kondisi ini menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kampung Aur merupakan hasil dari interaksi kompleks antara faktor hidrologi dan tekanan morfologi permukiman.

Berdasarkan kondisi tersebut, terjadi kesenjangan penelitian dalam memahami kerentanan banjir secara komprehensif yang tidak hanya mempertimbangkan variabel lingkungan, tetapi juga mengintegrasikan dimensi morfologi hunian dan aksesibilitas spasial. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola spasial kerentanan banjir di Kampung Aur dengan mengintegrasikan data lingkungan dan karakteristik morfologi permukiman menggunakan pendekatan GIS dan metode AHP. Penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi hubungan antara struktur ruang, tingkat kerentanan, dan kapasitas adaptasi kawasan, sehingga dapat menghasilkan dasar perencanaan yang lebih kontekstual dan berbasis data. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan pendekatan analisis kerentanan banjir berbasis spasial-morfologis, serta kontribusi praktis dalam mendukung perencanaan hunian adaptif dan mitigasi bencana di kawasan permukiman padat perkotaan secara berkelanjutan

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis spasial untuk mengkaji kerentanan banjir di kawasan Kampung Aur, Kecamatan Medan Maimun, Kota Medan, dengan

mengintegrasikan analisis lingkungan dan morfologi permukiman. Pendekatan ini bersifat *data-driven* dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk mengidentifikasi pola kerentanan secara spasial, serta metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menentukan bobot relatif setiap variabel.

Data yang digunakan terdiri atas data spasial dan non-spasial yang merepresentasikan dua dimensi utama, yaitu hazard (curah hujan, topografi, dan jarak terhadap sungai) serta vulnerability (penggunaan lahan, kepadatan drainase, kepadatan penduduk, dan morfologi permukiman seperti kepadatan bangunan dan kedekatan terhadap sungai). Data diperoleh dari sumber terbuka seperti BMKG/CHIRPS, DEM (SRTM/ALOS), citra Landsat/Sentinel, OpenStreetMap, dan BPS, kemudian diolah dalam format spasial.

Pengolahan Data dan Analisis Spasial

Data spasial diproses dalam GIS melalui tahap pre-processing berupa clipping, reprojection, dan konversi ke raster dengan resolusi 30 meter untuk menyamakan skala analisis. Seluruh variabel kemudian distandardisasi menggunakan metode min-max normalization agar memiliki skala yang sebanding.

Pembobotan dilakukan menggunakan metode AHP melalui matriks perbandingan berpasangan dengan skala 1–9. Bobot dihitung menggunakan eigenvector dan diuji dengan Consistency Ratio ($CR < 0,1$) untuk memastikan konsistensi. Selanjutnya, seluruh layer variabel diintegrasikan menggunakan teknik weighted overlay dalam GIS untuk menghasilkan indeks kerentanan banjir.

Indeks dihitung dengan persamaan:

$$FVI = \sum(w_i \times x_i)$$

Nilai indeks merupakan kombinasi bobot AHP dan nilai variabel terstandarisasi, kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Integrasi Morfologi Permukiman dan Aksesibilitas

Analisis diperkuat dengan integrasi morfologi permukiman dan aksesibilitas sebagai bagian dari sistem kerentanan. Morfologi dianalisis melalui kepadatan bangunan, KDB, pola tata ruang, dan okupasi sempadan sungai yang memengaruhi kapasitas infiltrasi dan paparan banjir.

Analisis aksesibilitas mencakup lebar jalur sirkulasi, konektivitas jaringan jalan, serta hambatan fisik yang memengaruhi mobilitas saat kondisi darurat. Integrasi spasial antara indeks kerentanan, morfologi, dan aksesibilitas digunakan untuk memahami hubungan antara struktur ruang dan tingkat risiko banjir.

Pendekatan ini memungkinkan identifikasi tidak hanya lokasi dengan kerentanan tinggi, tetapi juga mekanisme spasial yang membentuk risiko, sehingga dapat menjadi dasar dalam perencanaan hunian adaptif dan strategi mitigasi berbasis kawasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakteristik dan Pemetaan Spasial Kepadatan Bangunan

Kawasan Kampung Aur diklasifikasikan sebagai permukiman dengan tingkat kepadatan sangat tinggi (hyper-dense). Dengan total 50 unit hunian yang berdiri di atas lahan seluas ± 742 m², konsentrasi penduduk di wilayah ini telah melampaui daya dukung lingkungan yang ideal. Tingginya angka kepadatan ini berbanding lurus dengan peningkatan kerentanan sosial, di mana ruang gerak publik menjadi sangat terbatas dan memicu terjadinya fenomena *spatial appropriation* (pengambilalihan ruang).

Keterbatasan ruang akibat kepadatan ini memaksa masyarakat mengembangkan pola adaptasi ruang komunal secara informal, seperti Masjid Jami' Aur yang berperan sebagai pusat interaksi sosial utama dan "ruang bernapas" di tengah keterbatasan lahan. Selain itu, gang-gang



sempit dengan lebar kurang dari 3 meter beralih fungsi menjadi area aktivitas domestik warga, sekaligus menjadi kendala dalam mobilisasi evakuasi darurat

Gambar 1. Pemetaan Spasial Kepadatan Bangunan

Secara spasial, penggunaan lahan di Kampung Aur didominasi oleh fungsi hunian yang masif, sehingga menghasilkan Koefisien Dasar Bangunan (KDB) yang mendekati 100%. Kondisi ini menyebabkan hilangnya kapasitas infiltrasi alami serta ketiadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH), yang pada akhirnya meningkatkan limpasan permukaan (*surface run-off*) saat hujan dengan intensitas tinggi.

Ekspansi bangunan hingga ke bantaran Sungai Deli (jarak 0 meter) menyebabkan penyempitan penampang sungai dan mempercepat kenaikan debit air, sehingga memperluas zona risiko banjir. Bantaran sungai juga dimanfaatkan sebagai ruang publik informal meskipun berada pada area dengan tingkat kerentanan tinggi.

Pemetaan jaringan drainase menunjukkan sistem yang terdiri atas saluran primer (Sungai Deli), sekunder, dan aliran permukaan di jalan. Namun, sistem ini tidak memiliki kapasitas dan konektivitas yang memadai, sehingga menjadi salah satu faktor utama kerentanan kawasan



Gambar 2. Site Jalur Drainase di Kampung Aur

Disfungsi drainase dipicu oleh beberapa kondisi, antara lain penyempitan saluran akibat okupasi bangunan, sedimentasi dan penyumbatan oleh limbah domestik, serta penutupan saluran oleh struktur bangunan. Akibatnya, air tidak dapat mengalir secara optimal dan melimpah ke permukaan jalan. Fenomena ini menyebabkan jalan beralih fungsi menjadi saluran drainase darurat, yang sekaligus meningkatkan risiko genangan dan menghambat evakuasi.

Variabel jarak terhadap sungai menunjukkan kondisi kritis dengan rata-rata 0 meter, yang menandakan tidak adanya buffer zone antara bangunan dan Sungai Deli. Hal ini menyebabkan paparan langsung terhadap luapan air, mempersempit kapasitas sungai, serta menempatkan kawasan dalam kategori kerentanan maksimal.

Analisis aksesibilitas menunjukkan sistem sirkulasi organik dengan permeabilitas rendah. Jalur-jalur sempit, terfragmentasi, dan tidak terhubung secara optimal menyebabkan hambatan dalam mobilitas, terutama saat kondisi darurat.



Gambar 3. Pemetaan Spasial Kepadatan Bangunan

Kondisi sirkulasi di lapangan dijelaskan melalui empat tipe titik pengamatan: Titik A & E (Lebar 2,5 m): Jalur evakuasi terfragmentasi oleh privatisasi ruang (gerbang/pagar permanen) serta invasi fungsi komersial dan parkir. Titik B (Lebar 3 m): Berfungsi sebagai *entrance* kawasan, namun terputus secara fungsional akibat okupasi bahu jalan oleh parkir permanen kendaraan roda empat. Titik C (Lebar 2 m): Fragmen paling kritis akibat diskoneksi vertikal (tangga curam) yang memutus akses mobilitas tim penyelamat secara total. Titik D (Lebar 5 m): Bertindak sebagai "tulang punggung" sirkulasi dan satu-satunya jalur penyelamat utama (*escape route*).

Analisis Integrasi Indeks Kerentanan Banjir (Metode AHP)

Analisis kerentanan banjir di kawasan Kampung Aur dilakukan melalui integrasi metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan teknik *weighted overlay* dalam Sistem Informasi Geografis (GIS). Hasil pembobotan AHP menunjukkan bahwa dimensi **hazard** memiliki kontribusi yang lebih dominan dibandingkan dengan dimensi **vulnerability** dalam membentuk kerentanan banjir kawasan. Hal ini tercermin dari nilai bobot variabel, di mana curah hujan (0,408) menjadi faktor paling berpengaruh, diikuti oleh jarak terhadap sungai (0,191) dan topografi (0,128).

Dominasi variabel hazard menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kampung Aur secara struktural dikontrol oleh kondisi hidrometeorologi dan posisi geografis kawasan. Curah hujan berperan sebagai pemicu utama yang menentukan besarnya limpasan, sedangkan kedekatan terhadap Sungai Deli memperbesar tingkat paparan langsung terhadap luapan air. Dalam konteks ini, jarak bangunan yang mencapai 0 meter terhadap sungai menghilangkan fungsi buffer alami, sehingga meningkatkan risiko banjir secara signifikan. Sementara itu, faktor topografi berperan dalam mengarahkan akumulasi aliran, meskipun kontribusinya relatif lebih rendah dibandingkan dengan dua variabel lainnya.

Di sisi lain, dimensi **vulnerability** menunjukkan peran sebagai faktor penguat (*amplifier*) terhadap dampak banjir. Penggunaan lahan (0,131) menjadi variabel dominan dalam kelompok ini, yang mengindikasikan bahwa tingginya Koefisien Dasar Bangunan (KDB) dan dominasi permukaan kedap air secara langsung meningkatkan limpasan permukaan. Variabel drainase (0,087) mencerminkan keterbatasan kapasitas infrastruktur dalam mengalirkan air, sementara kepadatan penduduk (0,055) menunjukkan bahwa tekanan sosial terhadap ruang turut memperburuk kondisi kerentanan, meskipun kontribusinya relatif lebih kecil.

Untuk mengkuantifikasi tingkat kerentanan, seluruh variabel diintegrasikan dalam model indeks kerentanan banjir (*Flood Vulnerability Index/FVI*) sebagai berikut:

$$FVI = (0.408R) + (0.191S) + (0.128T) + (0.131L) + (0.087D) + (0.055P)$$

Nilai indeks dihitung berdasarkan hasil standardisasi variabel dalam skala 1–5 dan dikombinasikan dengan bobot AHP. Hasil perhitungan pada zona prioritas Kampung Aur ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Perhitungan Indeks Kerentanan Banjir (FVI) Kampung Aur

Variabel	Simbol	Bobot (w_i)	Skor (x_i)*	Nilai ($w_i \times x_i$)
Curah Hujan	R	0.408	5	2.040
Jarak ke Sungai	S	0.191	5	0.955
Topografi	T	0.128	4	0.512
Penggunaan Lahan	L	0.131	4	0.524
Drainase	D	0.087	3	0.261
Kepadatan Penduduk	P	0.055	3	0.165
Total FVI				4.457

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai FVI sebesar 4.457, yang termasuk dalam kategori kerentanan tinggi. Nilai ini mengindikasikan adanya interaksi kuat antara faktor hazard dan tekanan morfologi permukiman dalam membentuk risiko banjir di kawasan tersebut. Secara khusus, kontribusi terbesar berasal dari variabel curah hujan (2.040) dan jarak terhadap sungai (0.955), yang secara kumulatif menyumbang lebih dari 65% terhadap nilai indeks total. Hal ini menegaskan bahwa paparan terhadap sistem hidrologi merupakan determinan utama kerentanan. Namun demikian, kontribusi variabel penggunaan lahan dan drainase menunjukkan bahwa kondisi lingkungan binaan berperan signifikan dalam memperkuat dampak banjir. Tingginya kepadatan bangunan dan minimnya ruang terbuka menyebabkan peningkatan limpasan permukaan, sementara sistem drainase yang tidak optimal menghambat proses aliran air. Dengan demikian, meskipun faktor hazard bersifat dominan, kerentanan aktual di lapangan merupakan hasil interaksi antara faktor alami dan struktur spasial permukiman. Distribusi nilai indeks kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga kategori kerentanan, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel berikut.

Tabel 3. Klasifikasi Indeks Kerentanan Banjir

Kategori	Rentang FVI	Interpretasi
Rendah	1.00 – 2.50	Kapasitas adaptasi tinggi
Sedang	2.51 – 3.50	Area transisi
Tinggi	3.51 – 5.00	Risiko tinggi

Secara spasial, zona dengan kerentanan tinggi terkonsentrasi pada kawasan bantaran Sungai Deli yang memiliki kombinasi nilai tinggi pada variabel curah hujan, kedekatan terhadap sungai, serta penggunaan lahan yang intensif. Pola ini menunjukkan bahwa kerentanan banjir tidak bersifat acak, melainkan mengikuti struktur ruang kawasan yang didominasi oleh permukiman padat dan keterbatasan infrastruktur.



Gambar 4. Analisis Kerawanan Kampung Aur, Kecamatan Medan Maimun

Sementara itu, zona kerentanan sedang berfungsi sebagai area transisi yang memiliki potensi peningkatan risiko apabila terjadi perubahan tata guna lahan atau penurunan kualitas drainase. Adapun zona dengan kerentanan rendah menunjukkan kawasan dengan kondisi lingkungan yang relatif lebih adaptif, baik karena keberadaan ruang terbuka maupun struktur ruang yang lebih terkontrol. Secara keseluruhan, hasil analisis AHP dan perhitungan indeks menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kampung Aur merupakan fenomena spasial yang terbentuk dari interaksi antara faktor hidrologi dan tekanan morfologi permukiman. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan mitigasi tidak dapat hanya berfokus pada pengendalian faktor alami, tetapi harus diiringi dengan intervensi pada struktur ruang dan kualitas lingkungan binaan sebagai bagian dari strategi adaptasi yang berkelanjutan.

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa kerentanan banjir di kawasan Kampung Aur tidak terbentuk secara acak, melainkan merupakan konsekuensi langsung dari konfigurasi morfologi permukiman yang berkembang secara intensif dan tidak terkontrol. Temuan utama penelitian ini memperlihatkan bahwa kepadatan bangunan yang sangat tinggi (*hyper-dense*), dengan Koefisien Dasar Bangunan (KDB) yang mendekati 100%, menjadi faktor kunci yang mengubah karakteristik hidrologi kawasan (Son et al., 2023). Kondisi ini secara signifikan mengurangi kapasitas infiltrasi tanah, sehingga seluruh limpasan air hujan hampir sepenuhnya berubah menjadi aliran permukaan (*surface run-off*), yang kemudian mempercepat terbentuknya genangan.

Lebih lanjut, penggunaan lahan yang homogen dan didominasi oleh fungsi hunian menyebabkan hilangnya ruang terbuka hijau sebagai elemen ekologis yang berperan dalam mengendalikan siklus air (Sudiartono et al., 2022). Dalam konteks ini, ruang terbuka tidak hanya berfungsi sebagai area resapan, tetapi juga sebagai ruang adaptasi terhadap tekanan lingkungan. Ketiadaan ruang tersebut menunjukkan bahwa kawasan Kampung Aur telah kehilangan fungsi ekologis dasarnya sebagai sistem yang mampu menyeimbangkan antara input air hujan dan kapasitas penyerapan alami. Hal ini sejalan dengan latar belakang penelitian yang menekankan bahwa urbanisasi yang tidak terencana berkontribusi terhadap peningkatan kerentanan banjir

melalui perubahan tata guna lahan. Temuan penting lainnya adalah okupasi lahan hingga ke sempadan Sungai Deli, dengan jarak bangunan yang mencapai 0 meter. Kondisi ini menunjukkan bahwa tidak terdapat buffer zone yang berfungsi sebagai ruang transisi antara badan air dan permukiman. Akibatnya, kawasan hunian mengalami paparan langsung terhadap dinamika hidrologi sungai, termasuk kenaikan muka air dan tekanan hidrostatik saat terjadi banjir. Selain itu, ekspansi bangunan ke arah sungai secara fisik mempersempit penampang aliran, sehingga meningkatkan kecepatan dan volume luapan air ke daratan. Dengan demikian, faktor kedekatan terhadap sungai tidak hanya meningkatkan paparan, tetapi juga secara aktif memperburuk kapasitas sistem sungai dalam menampung debit air.

Kondisi ini diperparah oleh disfungsi sistem drainase yang teridentifikasi melalui pemetaan spasial dan observasi lapangan. Sistem drainase di kawasan ini tidak memiliki kapasitas dan konektivitas yang memadai, baik pada saluran primer maupun sekunder. Penyempitan saluran akibat okupasi bangunan, sedimentasi, serta penyumbatan oleh limbah domestik menyebabkan terjadinya bottleneck dalam aliran air. Akibatnya, air tidak dapat dialirkan secara efektif menuju badan sungai, melainkan terakumulasi di dalam kawasan permukiman. Fenomena ini menunjukkan bahwa infrastruktur drainase tidak hanya tidak optimal, tetapi juga telah kehilangan fungsi dasarnya sebagai sistem pengendali aliran air. Selain aspek fisik, struktur spasial kawasan juga menunjukkan adanya kerentanan dari sisi aksesibilitas. Jaringan sirkulasi yang sempit, terfragmentasi, dan tidak terhubung secara optimal menyebabkan rendahnya permeabilitas kawasan. Dalam kondisi normal, jaringan ini berfungsi sebagai jalur mobilitas harian, namun dalam kondisi banjir, jalur tersebut justru berubah menjadi aliran air permukaan yang aktif. Hal ini tidak hanya meningkatkan risiko genangan, tetapi juga menghambat proses evakuasi, sehingga memperbesar risiko terhadap keselamatan penghuni. Dengan demikian, aksesibilitas tidak hanya berkaitan dengan mobilitas, tetapi juga menjadi bagian dari sistem ketahanan kawasan terhadap bencana (Gunandar et al., 2024).

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kampung Aur merupakan hasil dari interaksi antara tekanan hidrologi dan kegagalan sistem spasial permukiman dalam beradaptasi terhadap lingkungan. Temuan ini menguatkan argumen bahwa banjir perkotaan tidak semata-mata merupakan fenomena alam, melainkan juga merupakan produk dari proses urbanisasi yang tidak terencana. Oleh karena itu, pendekatan mitigasi yang efektif harus melampaui solusi teknis semata, dengan menekankan pada penataan ulang struktur ruang, pengendalian kepadatan bangunan, pemulihan sempadan sungai, serta penguatan sistem drainase dan aksesibilitas sebagai bagian dari strategi adaptasi yang berkelanjutan (Rosedi & Ishak, 2023).

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kerentanan banjir di Kampung Aur merupakan hasil interaksi antara faktor hidrologi dan struktur spasial permukiman yang tidak adaptif. Tingginya curah hujan dan kedekatan ekstrem terhadap Sungai Deli membentuk tingkat paparan yang

tinggi, yang semakin diperparah oleh kepadatan bangunan, okupasi sempadan sungai, serta keterbatasan ruang terbuka dan sistem drainase. Dengan demikian, banjir tidak hanya dipicu faktor alami, tetapi juga diperkuat oleh tekanan urbanisasi yang tidak terkontrol.

Temuan utama menegaskan bahwa morfologi permukiman berperan sebagai faktor penguat kerentanan. Kepadatan bangunan dan hilangnya kapasitas infiltrasi meningkatkan limpasan permukaan, sementara drainase yang tidak optimal mempercepat genangan. Selain itu, struktur sirkulasi yang sempit dan terfragmentasi menurunkan aksesibilitas sekaligus meningkatkan risiko saat kondisi darurat, sehingga menunjukkan bahwa kerentanan bersifat multidimensional.

Secara konseptual, penelitian ini menekankan bahwa kerentanan banjir tidak dapat dipisahkan dari struktur ruang kawasan. Oleh karena itu, diperlukan intervensi berbasis tata ruang seperti pengendalian kepadatan bangunan, pemulihan sempadan sungai sebagai buffer zone, peningkatan drainase, serta penyediaan ruang terbuka. Strategi mitigasi banjir harus diarahkan pada transformasi struktur ruang yang lebih adaptif, bukan hanya solusi teknis semata.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashfaq, S., et al. (2025). Flood susceptibility assessment using GIS-based AHP and statistical models. *Global and Planetary Change*, 234, 104321. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2025.104321>
- Berrezel, Y. A., et al. (2026). Assessment of flood risk using integrated GIS and analytic hierarchy process. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.131234>
- Kader, Z., et al. (2024). GIS and AHP-based flood susceptibility mapping: A case study of Bangladesh. *Modeling Earth Systems and Environment*. <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01150-y>
- Lokantara, I. G. W., Nasution, R. H., & Zulfikar, A. (2026). Quantifying heritage resilience in Bali Aga vernacular settlements: Spatial insights from Bayung Gede Village, Bali. *GeoJournal*, 91, 58. <https://doi.org/10.1007/s10708-026-11623-6>
- Nsangou, D., Kpoumié, A., Mfonka, Z., Ngouh, A. N., Fossi, D. H., Jourdin, C., Mbele, H. Z., Oumorou, O. F., Vanderveere, J.-P., & Ngoupayou, J. R. N. (2022). Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: Case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau. *Scientific African*, 15, e01043. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01043>
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Pimenta, L., et al. (2025). GIS-based flood susceptibility mapping in urban areas. *Land*, 14(8), 1543. <https://doi.org/10.3390/land14081543>
- Marpaung, B. O. Y., & Sembiring, B. P. B. (2019). Bentuk permukiman di bantaran Sungai Deli Kecamatan Medan Labuhan. *Prosiding Temu Ilmiah*, 8(1). <https://doi.org/10.32315/ti.8.a017>
- Subakti, N., Chalid, A., & Avianta, A. Y. (2024). Implementasi konsep ecodrain pada evaluasi

- sistem drainase perkotaan (studi kasus sub sistem Kali Tengger Kabupaten Gresik). *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 4(2), 141–158.
- Liza, N., Husein, I., & Dur, S. (2024). Determining zoning of areas affected by flood disasters in Medan City using silhouette coefficient and Davies Bouldin index analysis. *Jurnal Pijar Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(3), 558–563. <https://doi.org/10.29303/jpm.v19i3.6707>
- Koagouw, A., Paseru, D., & Kairupan, I. (2024). Geographical information system for mapping flood-prone areas in Manado City using the K-Means clustering method. *Journal of Information Technology and Its Utilization*. <https://doi.org/10.56873/jitu.7.1.5403>
- Kinnane, O., Grey, T., & Dyer, M. (2016). Adaptable housing design for climate change adaptation. <https://doi.org/10.1680/JENSU.15.00029>
- Sedyowati, L., Yuniarti, S., & Sufiyanto, S. (2023). Is local wisdom able to build sustainable communities in informal flood-prone settlements? Evidence from Glintung Kampong, Malang City, Indonesia. *Local Wisdom*, 15(1), 41–52. <https://doi.org/10.26905/lw.v15i1.9008>
- Hidayah, E., Utami, R., Wiyono, A., & Dwi, A. (2023). Development of the flood vulnerability index using a multi-element approach. *Journal of Water and Land Development*. <https://doi.org/10.24425/jwld.2021.138181>
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., Abdullah, R., Saleh, A., & Abustan, I. (2022). Optimality of flood influencing factors for flood hazard mapping: An evaluation of two multi-criteria decision-making methods. *Journal of Hydrology*, 612, 128055. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128055>
- Son, C. H., Lc, C., & Ban, Y. U. (2023). Analysis of the impact and moderating effect of high-density development on urban flooding. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22695>
- Suardartono, U., Razak, A., Kamal, E., & Berd, I. (2022). Review impact of the spatial development patterns on water ecology of Cisadane watershed. *Science and Environmental Journals for Postgraduate*, 5(1), 08–16. <https://doi.org/10.24036/senjop.v5i1.137>
- Poverty and unpreparedness make monsters out of ordinary hazards. (2023). *TheScienceBreaker*. <https://doi.org/10.25250/thescbr.brk717>
- Gunandar, C. M., Hasibuan, H. S., & Tambunan, R. P. (2024). Flood vulnerability in Jakarta coastal settlement: A study at Kalibaru subdistrict, North Jakarta, Indonesia. *Planning Malaysia Journal*, 22. <https://doi.org/10.21837/pm.v22i34.1584>
- Rosedi, N., & Ishak, M. Y. (2023). Evaluation of the vulnerability and resilience towards urban flash floods in Kuala Lumpur, Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1144(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1144/1/012012>
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nature Climate Change*, 3(9), 802–806. <https://doi.org/10.1038/nclimate1979>
- Oktaviani, K., & Handawati, R. (2022). Kerentanan bangunan di wilayah bencana banjir Kecamatan Cakung Jakarta Timur. *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, 7(1), 79–86. <https://doi.org/10.21067/jpig.v7i1.6057>