

Program Normalisasi Sungai Ciliwung dengan Pendekatan *Space Syntax* dalam Peningkatan Mitigasi Bencana Banjir

Ciliwung River Normalization Program Using a Space Syntax Approach to Enhance Flood Disaster Mitigation

Stepanus Andi Saputra

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Indonesia

stepanusandis@gmail.com

Profil Korenspondensi

Stepanus Andi Saputra, Program Studi Arsitektur, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia

<i>Submission</i>	<i>Revision</i>	<i>Accepted</i>
15/02/2025	10/07/2025	02/08/2025

Abstract

Flooding is an annual issue that continues to threaten the Special Capital Region of Jakarta, with significant impacts on infrastructure and the lives of its residents. Approximately 70% of Jakarta's area has been submerged during major floods, disrupting inter-regional access, causing casualties, and resulting in substantial economic losses. One of the primary causes of flooding is the growth of illegal settlements along riverbanks due to poorly organized spatial planning, leading to river narrowing and increased risk of overflow during heavy rainfall. Areas like Kampung Melayu along the Ciliwung River are particularly prone to annual flooding. The Provincial Government of the Special Capital Region of Jakarta has undertaken various mitigation programs, including river normalization, river naturalization, and the construction of infiltration wells. However, implementing these programs has often been suboptimal, with shifting policy priorities depending on leadership changes. Additionally, limited attention has been given to the road network as part of flood disaster mitigation, despite its crucial role in supporting evacuation and mobility during emergencies. This study aims to evaluate the vulnerability of road networks using the space syntax theory, which provides an in-depth analysis of spatial relationships. The method employed involves axial map analysis using Depthmap software to map spatial connections and the integration levels of road networks. The study compares the performance of road networks under normal conditions and during flooding. It also examines the performance of bridges and inter-regional connecting routes. The research focuses on areas along the Ciliwung River, particularly Kampung Melayu, covering a 3 km radius, one of 69 flood-affected regions. The study's findings are expected to provide strategic recommendations to improve the overall performance of road infrastructure, thereby enhancing the effectiveness and sustainability of flood mitigation efforts.

Keywords: *Space Syntax; Axial Map Analysis; Urban Infrastructure Network; River Normalization*

Abstrak

Banjir merupakan permasalahan tahunan yang terus mengancam wilayah DKI Jakarta, dengan dampak signifikan terhadap infrastruktur dan kehidupan masyarakat. Sekitar 70% wilayah Jakarta pernah terendam banjir, yang menyebabkan terganggunya akses antarwilayah dan menimbulkan korban jiwa serta kerugian ekonomi. Salah satu penyebab utama banjir adalah pertumbuhan permukiman ilegal di bantaran sungai akibat tata ruang yang tidak terorganisasi, yang mengakibatkan penyempitan aliran sungai dan meningkatkan risiko luapan air saat hujan deras. Wilayah seperti Kampung Melayu sepanjang Sungai Ciliwung menjadi lokasi yang kerap terdampak banjir setiap tahunnya. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah berupaya melakukan berbagai program mitigasi, seperti normalisasi sungai, naturalisasi sungai, dan pembangunan sumur resapan. Namun, implementasi program-program ini sering kali tidak optimal, dengan perubahan fokus kebijakan yang bergantung pada pergantian generasi pemimpin. Selain itu, perhatian terhadap jaringan jalan sebagai bagian dari mitigasi bencana banjir masih terbatas, meskipun jaringan jalan memainkan peran penting dalam mendukung evakuasi dan mobilitas saat bencana terjadi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi tingkat kerentanan jaringan jalan menggunakan pendekatan teori *space syntax*, yang memungkinkan analisis mendalam tentang keterkaitan ruang. Metode yang digunakan adalah analisis *axial map* melalui perangkat lunak *Depthmap* untuk memetakan hubungan spasial dan tingkat integrasi antar jaringan jalan. Studi ini membandingkan kinerja jaringan jalan dalam kondisi normal dan saat banjir. Selain itu, analisis mencakup evaluasi kinerja jembatan atau jalur penghubung antarwilayah. Area penelitian difokuskan pada sepanjang Sungai Ciliwung, khususnya Kampung Melayu dengan cakupan 3 km, yang merupakan salah satu dari 69 wilayah terdampak banjir. Hasil penelitian diharapkan memberikan rekomendasi strategis untuk meningkatkan kinerja infrastruktur jalan secara menyeluruh, sehingga mitigasi banjir dapat lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Space Syntax; Analisis Axial Map; Jaringan Infrastruktur Perkotaan; Normalisasi Sungai*



Copyright © 2025, Stepanus Andi Saputra



10.30738/st.vol11.no2.a17897

Pendahuluan

Bencana banjir sudah menjadi masalah tahunan masyarakat DKI Jakarta, pada tahun 2007, 70% wilayah Jakarta terendam banjir, mengakibatkan putusnya akses antar wilayah (Ward et al., 2011). Sejak tahun 2013, tercatat bahwa dampak banjir di Jakarta telah menyebabkan banyak korban luka dan kematian (Pantau Banjir Jakarta, 2020). Salah satu faktor penyebab bencana ini dikarenakan terbentuknya permukiman-permukiman ilegal atau kumuh di garis sempadan sungai akibat dari pertumbuhan penduduk yang tidak diorganisir dengan baik (Harahap, 2013). Sehingga terjadinya penyempitan sungai, maka dapat meluap saat hujan lebat (Atelia et al., 2022). Seperti

kasus permukiman kumuh di kawasan Penjaring yang kondisinya saat ini rumah-rumahnya saling berimpitan dan sebagian berdiri di tepi sungai, maka kapasitas sungai berkurang, sehingga dapat meluap saat hujan lebat (Suryanti et al., 2020).

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta terus-menerus berupaya dalam peningkatan mitigasi bencana banjir. Dinamika kebijakan pemerintah DKI Jakarta dalam mengupayakan pembenahan selalu berubah tergantung generasinya atau dapat dikatakan beberapa program tidak selesai dengan optimal. Seperti contoh program normalisasi sungai pada tahun 2015 di kampung Pulo, dan kini menjadi naturalisasi sungai, mungkin ke depannya akan berubah lagi. Selain itu, dapat dilihat bahwa fokus dari beberapa program pemerintah adalah seputar peningkatan volume penampungan sungai dan pembuatan sumur resapan (Maulida et al., 2022).

Meskipun begitu, setiap program pasti memiliki kelebihan dan kekurangannya, namun diperlukan penindakan tambahan. Khususnya dalam peningkatan kinerja jaringan jalan. Bahwa terdapat jalan yang tidak dapat dilalui saat banjir, terutama di wilayah sekitar aliran sungai, yang menyulitkan warga untuk mengambil langkah evakuasi. Banyak individu lebih memilih untuk tinggal di rumah daripada menghadapi bahaya arus air yang deras (Robbani et al., 2020).

Oleh karena itu, evaluasi masih diperlukan guna mengurangi kerugian yang terjadi. Dalam konteks ini, kerusakan pada infrastruktur perkotaan menjadi fokus utama penelitian, terutama dalam peningkatan kinerja jaringan jalan akibat tata ruang yang kurang terorganisir. Supaya program yang dilakukan memiliki pertimbangan tambahan dan menjadi lebih tepat sasaran dan setiap programnya secara paralel dapat berjalan karena terhubung sampai saat ini Jakarta masih mengalami bencana banjir dan diprediksikan wilayah bantaran sungai dan pesisir pantai akan mengalami peningkatan banjir pada tahun 2030 (Kuzma & Luo, 2020).

Penelitian ini akan mengevaluasi dengan pendekatan teori *space syntax* yang diperkenalkan oleh Bill Hillier. Dijelaskan bahwa aplikasi teori ini dapat memberikan hasil yang akurat dengan mengacu pada konsep spasial atau perubahan ruang menggunakan berbagai teknik analisis, serta dapat memahami hubungan atau keterkaitan antar ruang secara mendalam (Yamu et al., 2021). Penerapan teori ini akan digunakan dalam metode kuantitatif untuk menilai tingkat kerentanan pada setiap jaringan jalan dengan analisis *axial map* yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak Depthmap (Turner, 2004). Perangkat ini dikembangkan oleh Alasdair untuk mendapatkan hasil lebih terukur. Fokus dari alat ini adalah mengetahui ruang yang saling berkaitan dalam sistem pengukuran integrasi dan pilihan.

Analisis ini akan membandingkan 3 bagian, yaitu: Pertama adalah perbandingan kinerja jaringan jalan saat ini dengan peta rekayasa saat program normalisasi sungai dilanjutkan ke wilayah lainnya. Kedua adalah perbandingan kinerja jaringan jalan saat ini dengan pemodelan peta saat terjadi banjir. Ketiga adalah kinerja dari jembatan atau jalan yang digunakan sebagai penghubung antar wilayah saat tidak terjadi banjir dan saat terjadi banjir. Penilaian perbandingan akan dilakukan dalam empat kategori ketinggian banjir selama 24 jam, yaitu kondisi normal, 60 cm/24 jam, 100 cm/24 jam, dan 150 cm/24 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan nilai kerentanan dari kinerja infrastruktur perkotaan saat terjadi banjir dan saat kondisi normal secara menyeluruh (Gil & Steinbach, 2008).

Area yang menjadi fokus penelitian terletak di sebagian kawasan sepanjang Sungai Ciliwung, dengan batas wilayah Kampung Melayu yang memiliki jarak 3 kilometer. Menurut Pantau Banjir Jakarta (2020) Wilayah ini termasuk salah satu dari 69 area yang

terdampak banjir akibat meluapnya Sungai Ciliwung. Selain itu, lokasi ini termasuk dalam prioritas revitalisasi ruas kawasan sepanjang Sungai Ciliwung karena kerap kali mengalami banjir setiap tahunnya (Dwiputra et al., 2021).

Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari bencana banjir terhadap tingkat kerentanan dalam integrasi dan konektivitas pada kinerja jaringan jalan. Data ini bermanfaat untuk menambah bagian dalam upaya merencanakan peningkatan jaringan jalan atau upaya peningkatan mitigasi banjir. Dalam mendukung upaya tersebut agar mendapatkan nilai yang akurat, maka metode kuantitatif digunakan sebagai dasar penelitian numerik untuk mengukur temuan observasi secara objektif. Data numerik biasanya diperoleh melalui kuesioner yang diambil sebagai sampel. Meskipun demikian, metode ini dapat diterapkan dalam berbagai pendekatan asalkan data bersifat numerik atau dapat dibandingkan seperti suatu simulasi yang memiliki peranan serupa dengan suatu eksperimen dalam suatu laboratorium karena hasilnya memiliki bobot proporsi yang dapat digunakan (Groat dan Wang, 2002 dalam Barada, 2013). Menurut Creswell (2015), metode kuantitatif merupakan pendekatan penelitian yang dilakukan dengan berbagai cara atau mempunyai sistem yang jelas, dan tetap mempertahankan pandangan objektif terhadap bidang tertentu dengan langkah-langkah yang linear. Penggunaan teori *space syntax* dapat diterapkan dalam metode kuantitatif karena memiliki hubungan yang erat, terutama dalam menganalisis perubahan ruang. Secara lebih luas, terdiri dari berbagai teknik yang dapat digunakan secara individual atau dalam kombinasi analitis dengan metode lain (Yamu, 2021). Kombinasi metode kuantitatif dengan teori *space syntax* s juga telah dilakukan oleh para peneliti lainnya, seperti dalam mengetahui nilai integrasi suatu kawasan (Kustianingrum & Haerdy, 2023) yang hasilnya telah memberi gambaran atau parameter sehingga dapat diidentifikasi keadaan dari permasalahan ruang atau objek penelitiannya.

Kegunaan *Space Syntax* dalam Evaluasi Kinerja Jaringan Jalan

Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Bill Hillier sebagai respons terhadap meningkatnya kebutuhan ruang akibat pertumbuhan penduduk. Oleh karena itu, seiring dengan perubahan zaman, ruang menjadi sangat penting untuk dimanfaatkan dengan lebih efisien. Hillier menekankan bahwa *space syntax* adalah teknik analisis spasial yang menggabungkan faktor fisik dengan faktor tak tersentuh atau abstrak (intangible). Pendekatan ini memberikan ketelitian yang mencerminkan konsep spasial dan berbagai metode analisis yang membantu dalam memvisualisasikan fitur spasial atau kota yang berkelanjutan (Klarqvist, 2015).

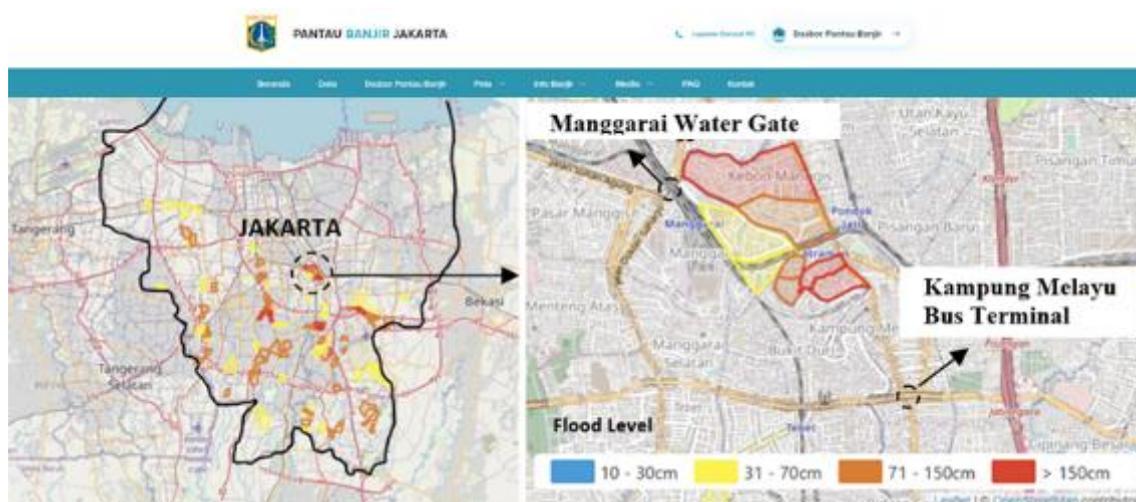
Selain itu, secara tidak langsung, *space syntax* memperhatikan aspek lingkungan manusia, sosial, dan ekonomi. Metode ini berdasarkan teori graf matematika diskrit untuk menghitung hubungan spasial antara konfigurasi jalur di lingkungan binaan sehingga dapat diketahui nilai dari kuantitas dari studi ini. Metode ini umumnya digunakan untuk menganalisis hubungan dan pola pergerakan antar ruang. Gil & Steinbach (2008) mengindikasikan bahwa *space syntax* dapat digunakan untuk meningkatkan mitigasi bencana dengan mengevaluasi kinerja perkotaan secara lebih rasional. Dalam *space syntax*, terdapat beberapa metode dasar untuk menganalisis hubungan spasial linier, namun pada penelitian ini akan menggunakan analisis *axial map*.

|||

Menurut Al-Sayed, dkk. (2014), *axial line* merupakan representasi titik terjauh ekspansi dalam ruang dan merupakan elemen penting dari teori *space syntax*. Penelitian ini akan menggunakan *axial map* untuk menyajikan hasil penelitian, menguji skenario dengan dan tanpa banjir. Untuk mencapai tujuan tersebut, teknik analisis simulasi akan diterapkan, terutama dengan menggunakan *axial line* sebagai vektor spasial untuk menggambarkan kondisi tipologi spasial pada skala kota.

Pembuatan Peta Jaringan Jalan dalam Analisis *Axial Map*

Untuk memulai proses pengukuran, peta analisis akan disusun dengan memanfaatkan informasi yang diperoleh dari Pantau Banjir Jakarta (Pantau Banjir Jakarta, 2020). *Website* yang disediakan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menginformasikan tentang kondisi banjir di Jakarta. Lokasi yang dipilih adalah Kampung Melayu, yang merupakan salah satu daerah sepanjang Sungai Ciliwung. Daerah ini sering mengalami banjir besar setiap tahunnya, seperti yang terjadi pada tahun 2021, di mana ketinggian banjir mencapai 150-200 cm. Pada tahun 2022 dan 2023, wilayah tersebut masih diprediksi akan mengalami banjir. Setelah meninjau informasi dari berbagai sumber dan mencoba untuk memahami nilai integrasi dan konektivitas jaringan jalan terhadap wilayah sekitarnya, maka wilayah penelitian ini akan diproyeksikan dalam radius 3 km. Menurut Overgaard (1966) dalam Ramadhani (2021) mengklasifikasikan bahwa jangkauan tersebut merupakan jarak perkiraan yang dapat ditempuh oleh pejalan kaki. Dalam konteks peningkatan mitigasi banjir, secara spesifik dalam aspek evakuasi saat terjadi banjir maka jarak ini dapat menjadi batasan atau kesanggupan manusia dalam mencapai lokasi-lokasi evakuasi.



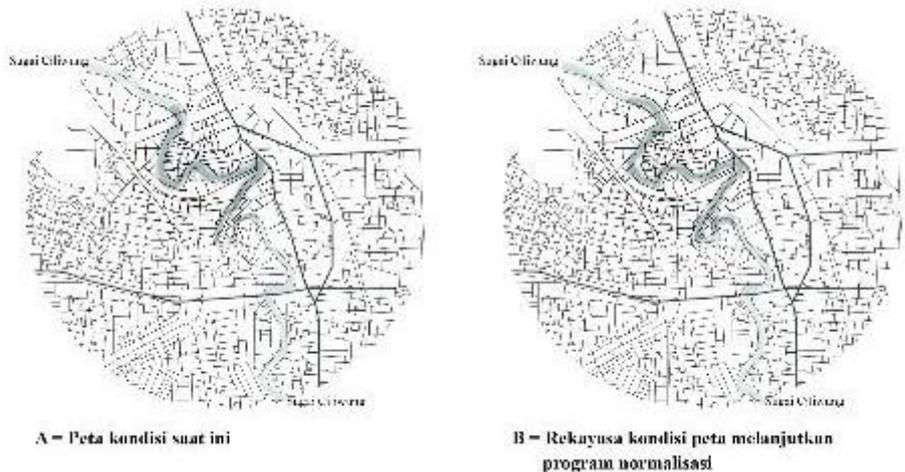
Gambar 1. Data ketinggian banjir Jakarta tahun 2021 dari *Open Street Map*

Gambar 1, menggambarkan batas wilayah penelitian yang ditandai dengan garis hitam. Lokasinya terletak sepanjang Sungai Ciliwung, yang merupakan salah satu penyumbang utama banjir di Jakarta, terutama saat hujan lebat. Akibatnya, jaringan jalan di daerah tersebut sering kali terganggu.

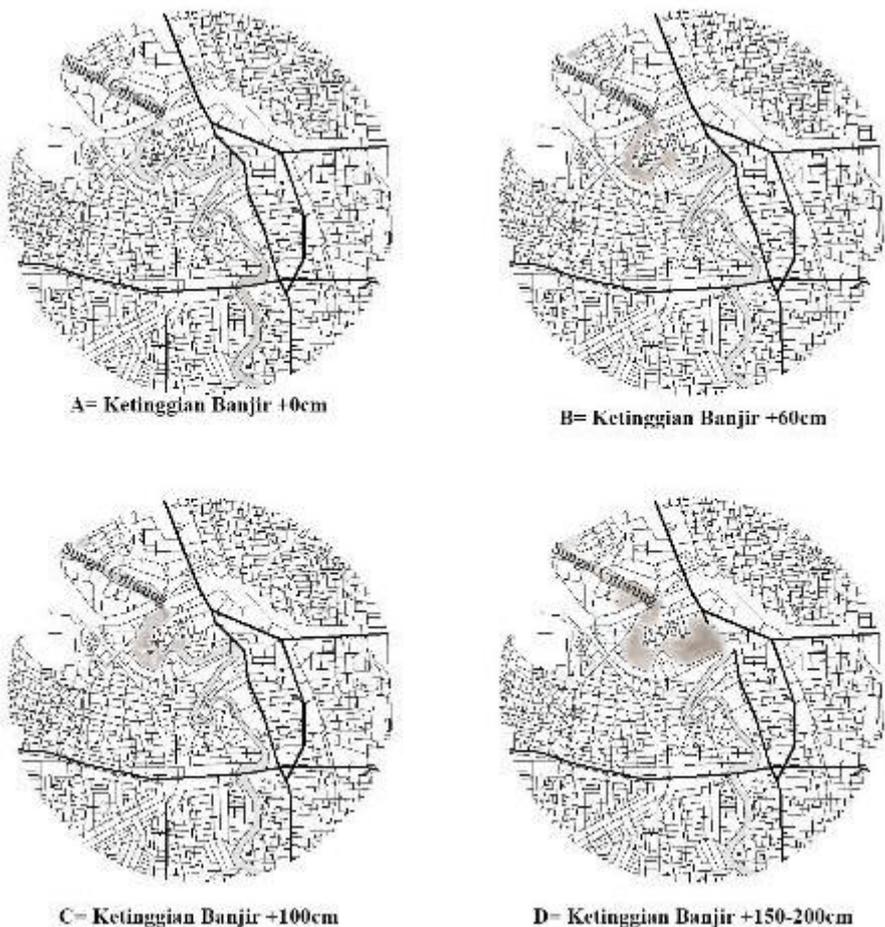
Setelah menetapkan lokasi yang akan menjadi fokus penelitian, langkah berikutnya adalah merancang model peta jaringan jalan untuk analisis *axial map*. Berhubungan dengan 3 aspek analisis perbandingan yang akan dilakukan. Maka, peta perbandingan dibuat menyesuaikan kebutuhan tersebut. Peta pertama adalah gambaran jaringan jalan secara *real time* dan peta pembandingnya adalah model rekayasa jaringan jalan apabila

|||

program normalisasi sungai yang akan dilanjutkan 2022 dalam upaya mengetahui seberapa signifikan peningkatan atau perubahan dari kinerja jaringan jalan tersebut yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Axial Map sesudah dan sebelum program normalisasi sungai

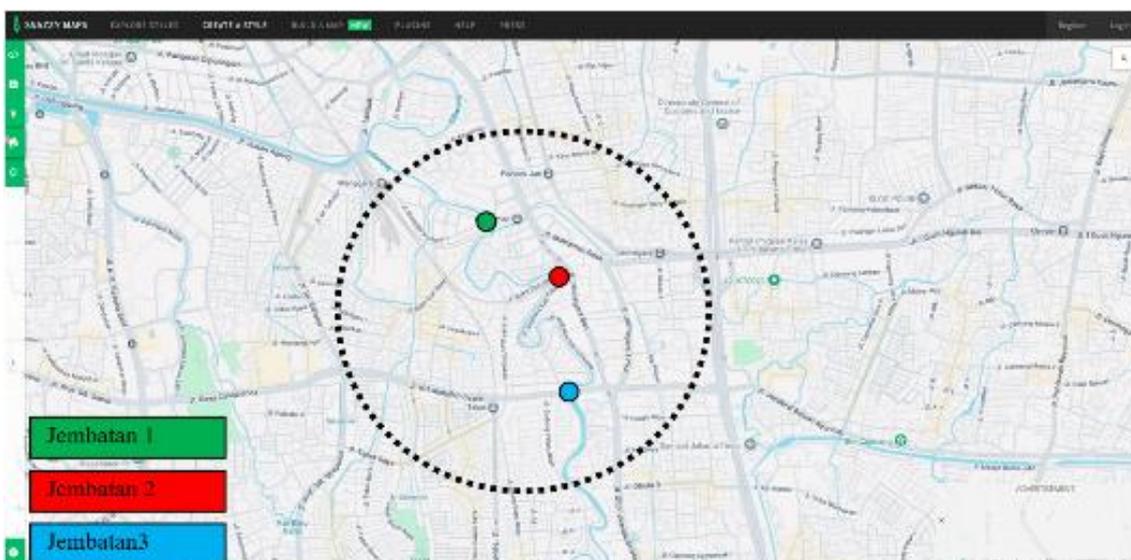


Gambar 3. Axial map sesuai ketinggian genangan banjir

Selanjutnya perbandingan yang kedua, yaitu dengan membuat model peta ketika terjadi bencana banjir, peta yang digunakan adalah situasi jaringan jalan *real time*. Adapun acuan ketinggian genangan banjir berdasarkan kondisi perkiraan wilayah yang terdampak banjir pada tahun 2022 (Pantau Banjir Jakarta, 2022).

Proses pemetaan dilakukan dengan menggambar garis dari tengah jalan, sehingga mempermudah pengelolaan model peta dan menghasilkan perhitungan yang lebih objektif (Turner, 2007 dalam Van Nes & Yamu, 2021). Selanjutnya, objek penelitian dibagi menjadi empat model peta analisis yang sesuai dengan ketinggian banjir yang terlihat pada **Gambar 3**, dengan keterangan sebagai berikut Model A = tanpa banjir, Model B = 60 cm, Model C = 100 cm, dan Model D = 150-200 cm. Setiap jalan atau yang tergenang banjir akan dihilangkan sesuai dengan perjalanan ketinggian banjir selama 24 jam. Setelah itu, model tersebut dianalisis melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *Depthmap*.

Selain itu, evaluasi integrasi terhadap jalan-jalan penghubung antara wilayah yang dibatasi oleh aliran sungai menjadi prioritas untuk diketahui nilai kerentanannya pada situasi sedang mengalami bencana banjir. Apabila dalam peta simulasi tersebut terdapat jalan penghubung yang terendam banjir, maka akan coba dikakukan rekayasa dengan tetap membiarkan jalan tersebut tetap ada untuk mengetahui seberapa berpengaruh kinerja dari jalan tersebut untuk peningkatan mitigasi banjir. Pada Gambar 4, lokasi yang direncanakan untuk jalan penghubung ditandai warna hijau sebagai jembatan 1, warna merah adalah jembatan 2, warna biru menjadi 3. Sama dengan analisis jaringan jalan, pada bagian ini juga dibagi menjadi empat model peta analisis yang sesuai dengan ketinggian banjir dengan keterangan sebagai berikut Model A = tanpa banjir, Model B = 60 cm, Model C = 100 cm, dan Model D = 150-200 cm. Setelah itu, model tersebut dianalisis melalui simulasi menggunakan perangkat lunak *Depthmap*.



Gambar 4. Peta jalan atau jembatan penghubung antar wilayah

Hasil dan Pembahasan

Terdapat variasi nilai pada setiap variabel penilaian yang mencerminkan adanya peningkatan dan penurunan dalam peta analisis yang digunakan sebagai dasar simulasi. Perbandingan antara peta analisis yang disajikan sebagai proyeksi rencana program

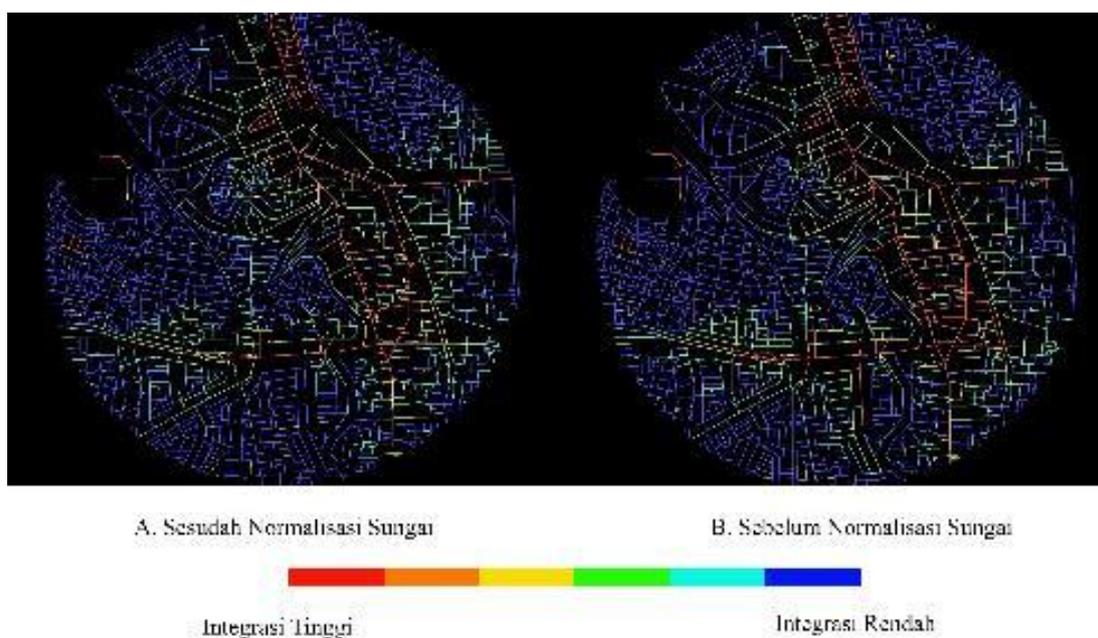
normalisasi tahap berikutnya menunjukkan perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan kondisi jaringan jalan saat ini. Selain itu, klasifikasi ketinggian banjir menjadi salah satu faktor yang memengaruhi hasil, di mana fluktuasi terlihat, khususnya pada ketinggian banjir 150 cm. Pada beberapa variabel penilaian, peningkatan nilai yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan ketinggian banjir 100 cm. Berikut ini adalah penjelasan lebih rinci mengenai temuan hasil simulasi.

Kinerja Jaringan Jalan pada Program Normalisasi Tahap Selanjutnya

Gambar 5 pada bagian A menggambarkan hasil simulasi peta jaringan jalan yang direncanakan sebagai bagian dari program normalisasi sungai tahap selanjutnya. Sementara itu, bagian B menampilkan kondisi jaringan jalan yang ada saat ini.

Berdasarkan hasil analisis, terlihat adanya perubahan warna pada jaringan jalan di wilayah yang sering terdampak banjir atau yang termasuk dalam area program normalisasi. Perubahan warna tersebut merepresentasikan perubahan dari tingkat atau beban dari integrasi jaringan jalan.

Pada peta jaringan jalan terkini (Bagian B), terlihat bahwa beban jaringan jalan menuju jalan arteri tidak merata. Warna yang merepresentasikan tingkat integrasi tertinggi hanya ditemukan pada beberapa ruas jalan tertentu. Sebaliknya, pada peta jaringan jalan hasil normalisasi (Bagian A), terdapat distribusi beban kinerja yang lebih merata pada masing-masing ruas jalan. Hal ini ditandai dengan perubahan warna pada beberapa ruas jalan yang sebelumnya menunjukkan tingkat integrasi tinggi (misalnya merah) menjadi tingkat integrasi yang lebih rendah (misalnya oranye), atau turun satu tingkat. Gambaran ini mencerminkan sedikit penurunan tingkat integrasi pada beberapa ruas jalan tertentu. Namun demikian, meskipun terjadi penurunan pada beberapa ruas jalan, kinerja jaringan jalan di wilayah yang lebih dekat dengan permukiman yang dinormalisasi justru menunjukkan peningkatan. Hal ini mencerminkan distribusi kinerja jaringan jalan menjadi lebih seimbang, sehingga nilai integrasi antar jalan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

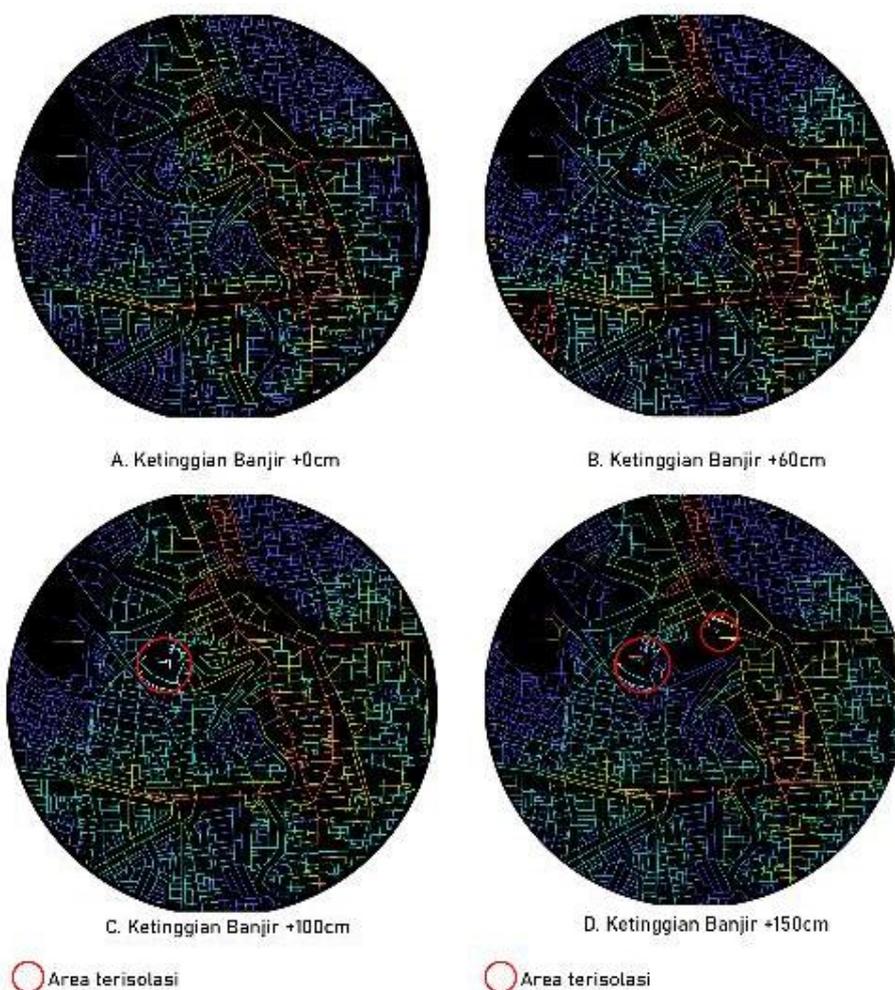


Gambar 5. Perubahan distribusi kinerja jaringan jalan sebelum dan sesudah program normalisasi sungai

Hasil analisis perbandingan juga menunjukkan adanya peningkatan nilai integrasi sebesar kurang dari 1% jika dilihat dari kinerja keseluruhan jaringan jalan. Namun, pada segmen jaringan jalan yang telah menjalani program normalisasi, peningkatan nilai integrasi tercatat lebih signifikan, yaitu sebesar $\pm 8\%$. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa program normalisasi memberikan dampak yang lebih besar pada segmen jaringan jalan yang terlibat langsung dibandingkan dengan jaringan jalan secara keseluruhan. Temuan ini mengindikasikan bahwa program normalisasi dapat memberikan dampak positif terhadap pemerataan fungsi dan kinerja jaringan jalan di wilayah terdampak.

Kinerja Jaringan Jalan Terkini dalam Keadaan Banjir

Hasil simulasi yang ditampilkan pada **Gambar 6** menunjukkan adanya pembagian wilayah berdasarkan perubahan warna pada peta analisis. Perubahan ini mencerminkan dinamika yang terjadi akibat terputusnya beberapa jaringan jalan, yang disebabkan oleh meningkatnya intensitas genangan air. Selain itu, faktor lain yang turut memengaruhi adalah ketidakmerataan perencanaan jaringan jalan, khususnya terkait integrasi antara jalan arteri dengan jaringan jalan lokal. Ketidakseimbangan ini memperburuk dampak bencana banjir, sehingga beberapa wilayah menjadi terisolasi, sebagaimana ditunjukkan oleh garis merah melingkar pada gambar. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa intensitas genangan yang tinggi dapat secara langsung mengganggu aksesibilitas dan konektivitas jaringan jalan.

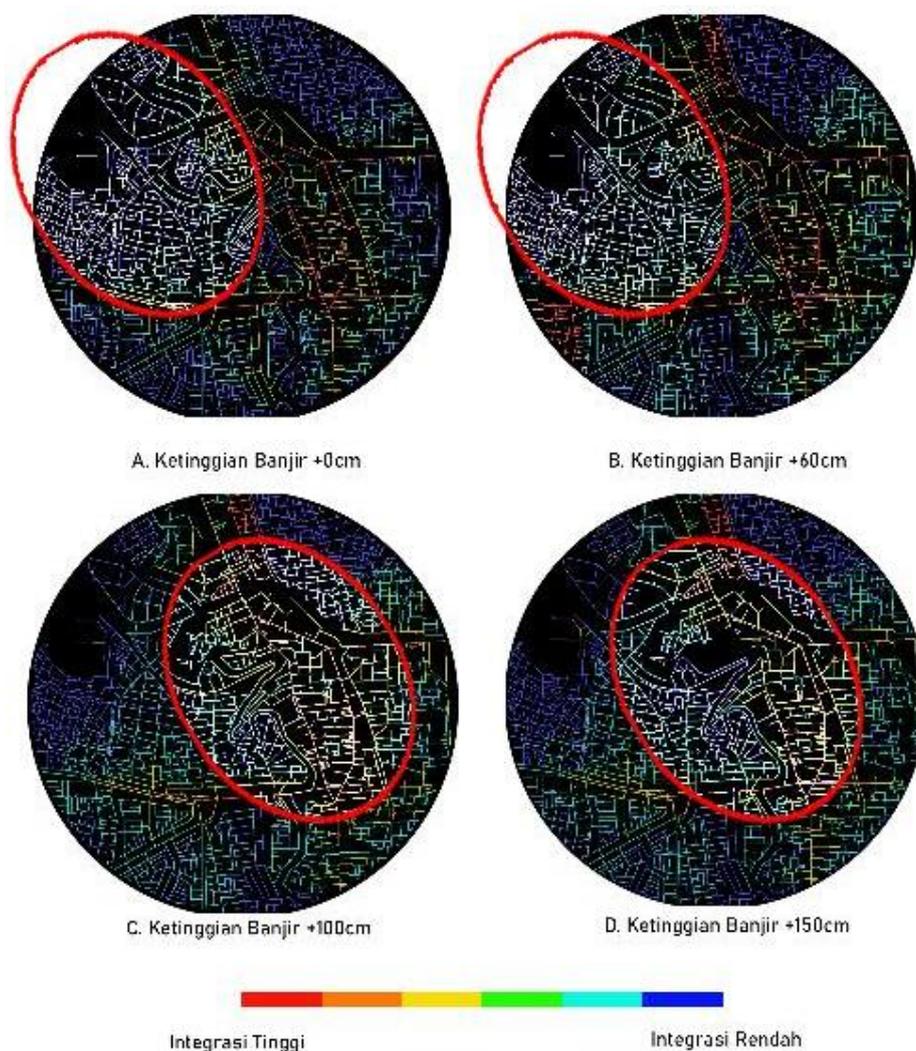


Gambar 6. Lokasi ruang yang terisolasi dari hasil simulasi

|||

Oleh karena itu, perbedaan ketinggian banjir menjadi sangat berpengaruh terhadap perubahan kinerja dari jaringan jalan, yang di mana dapat bergerak secara signifikan maupun perlahan. Namun, ketinggian banjir menjadi tidak merata akibat dari kontur tanah pada beberapa bagian di wilayah penelitian, sehingga terbentuk kantong-kantong genangan. Secara garis besar pada wilayah penelitian, genangan terjadi pada permukiman yang berdiri dekat dengan Sungai Ciliwung.

Dapat dilihat pada objek penelitian pada **Gambar 7**, ke empat peta perbandingan yang menyesuaikan dengan tingginya genangan memberikan nilai-nilai yang berbeda. Seperti, ketika banjir berada dalam ketinggian genangan 60 cm menunjukkan terbentuknya perubahan pengelompokan. Terdapat sebagian wilayah yang awalnya memiliki nilai integrasi paling rendah menjadi meningkat, semangkin meningkat atau meluas saat genangan mencapai 100 cm - 150 cm.



Gambar 7. Perubahan distribusi kinerja jaringan jalan sesuai dengan ketinggian banjir

Meskipun, di sebagian wilayah lain kerusakan nilai integrasinya mempengaruhi sumbu utama yang ditandai dengan warna merah yang merupakan bagian jaringan jalan yang memiliki nilai integrasi tinggi, dan tidak berdiri di dekat Sungai Ciliwung. Semangkin tinggi genangan, mengubah sebagian jaringan jalan pada sumbu utama menjadi warna kuning atau sumbu jaringan dengan kategori nilai integrasi sedang

|||

sehingga jaringan utama yang harusnya mudah untuk diakses menjadi lebih sulit diakses atau ikut terdegradasi. Selain itu, curah hujan yang paling parah juga berdampak pada sumbu-sumbu lain yang terputus sama sekali yang menunjukkan fragmentasi berlebihan. Perubahan tersebut terkesan membentuk nilai simulasi yang kurang akurat atau inkonsisten karena telah membentuk peningkatan dan penurunan di waktu bersamaan. Secara khusus, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya sebagian besar sumbu terputus terkonsentrasi di daerah yang kurang berkembang atau permukiman di sepanjang bantaran sungai, yang sebagian besar terdiri dari sumbu pendek. Seperti yang ditunjukkan pada peta permukaan jalan, daerah yang diisi dengan gang-gang sempit dan berkelok-kelok adalah yang paling terdampak. Maka dengan itu, fenomena ini mempengaruhi struktur kinerja jaringan jalan secara menyeluruh yang membentuk setiap masing-masing bagian wilayah mengalai perubahan kelompok menyesuaikan dengan setiap jaringan yang hilang.

Untuk fokus pada transformasi jaringan jalan dari waktu ke waktu, dapat ditemukan bahwa kondisi aksesibilitas di wilayah penelitian menurun seiring dengan meningkatnya intensitas curah hujan dari 60 cm/24 jam, menjadi 100 cm/24 jam, dan selanjutnya menjadi 150 cm/24 jam. Dapat dilihat dalam bentuk numerik yang ditunjukkan pada **Tabel 1.** diketahui, bahwa terjadi penurunan yang bertahap terhadap *number of axial and total length* seiring dengan meningkatnya ketinggian genangan. Penurunan nilai terkonsentrasi tidak signifikan yaitu sebesar 3,1% pada ketinggian 150 cm, menunjukkan banjir yang terjadi di lokasi penelitian merupakan banjir lokal. Begitu pun pada hasil *average integration* penurunan yang terjadi juga tidak signifikan, yaitu sekitar 4,3% pada ketinggian 150 cm, hal ini dipengaruhi oleh genangan banjir telah merendam jalan arteri atau poros jalan dari jaring integrasi jalan secara menyeluruh. Namun, pada ketinggian 60cm dan 100m hasilnya mengalami perbedaan, yaitu mengalami kenaikan sekitar 0,2% - 0,3%, meskipun kenaikan yang terjadi tidak signifikan ini mengartikan bahwa genangan telah mendegradasi wilayah-wilayah yang memiliki nilai integrasi rendah, sehingga terjadinya pemutusan kelompok perhitungan. Sedangkan, pada poin perbandingan *% of Cul-de-sacs* dan *% of Isolated Axials* telah terjadi kenaikan yang bertahap sesuai dengan ketinggian banjirnya. Dari hasil tersebut juga menunjukkan bahwa bencana banjir telah membentuk sebagian wilayah menjadi terisolasi. Hal ini tentu menjadi sangat serius untuk penanganan peningkatan mitigasi banjir. Selain itu, harusnya terdapat korelasi antara intensitas curah hujan dan luas genangan, terhadap penurunan aksesibilitas jaringan jalan seharusnya mengalami peningkatan secara otomatis. Namun, hasil simulasi menunjukkan nilai yang fluktuatif menandakan bahwa ada faktor dari pengaruh penataan jaringan jalan yang tidak terintegrasi dengan baik sebelum terjadinya genangan.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Kinerja Jaringan Jalan

	0cm/24 jam		60cm/24 jam		100 cm/24 jam		150 cm/24 jam	
<i>Number of Axials</i>	2.803,0		2.778,0	-0,9	2.753,0	-1,8	2.715,0	-3,1
<i>Total Length (km)</i>	101.754,6		100.766,3	-1,0	99.876,5	-1,8	98.553,7	-3,1
<i>Average Integration</i>	0,585		0,586	0,2	0,587	0,3	0,56	-4,3
<i>Average Choice</i>	44.299,4		43.834,6	-1,0	43.197,5	-2,5	43.676,9	-1,4
<i>% of Cul-de-sacs</i>	17,7		18,1	2,7	18,6	5,5	18,8	6,6
<i>% of Isolated Axials</i>	0,0		0,0	0,0	0,4	0,4	0,8	0,8

Kerentanan Jaringan Jalan Penghubung antar Wilayah

Jalan penghubung antarwilayah yang dibatasi oleh sungai memiliki peran yang sangat penting untuk dievaluasi, khususnya dalam rangka mengidentifikasi dampak bencana banjir terhadap jalur evakuasi yang disiapkan oleh pemerintah. Pada wilayah dengan batas sungai tersebut, dalam radius 3 km, terdapat tiga jembatan utama. Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada empat model peta (lihat **Tabel 2**), ditemukan adanya penurunan nilai integrasi di seluruh jalur evakuasi, termasuk jembatan, dengan tingkat penurunan yang bervariasi. Berikut adalah penjelasan rinci terkait temuan tersebut:

Pada jembatan 1, terjadi penurunan nilai integrasi yang paling kecil dibandingkan dengan dua jembatan lainnya. Penurunan tertinggi pada jembatan ini tercatat sebesar 2,2%, yang terjadi pada saat ketinggian banjir mencapai 150 cm. Hal ini dipengaruhi dari sistem kinerja jaringan jalan tidak memiliki hubungan secara langsung atau telah tereduksi dengan beberapa segmen wilayah sehingga perhitungannya ketika bertemu dengan ruas jalan yang bersentuhan tidak memiliki nilai integrasi yang besar.

Sebaliknya, pada jembatan 2, penurunan nilai integrasi menunjukkan dampak yang paling signifikan. Penurunan tajam terjadi pada ketinggian banjir 100 cm dan 150 cm, dengan penurunan hampir mencapai $\pm 50\%$ pada ketinggian banjir 150 cm. Sementara itu, pada ketinggian banjir 60 cm, penurunan integrasi tercatat kurang dari 1%. Temuan ini mengindikasikan bahwa jembatan tersebut tidak memiliki ketinggian yang memadai untuk menghadapi banjir dengan intensitas tinggi.

Dampak dari penurunan integrasi pada jembatan ini menjadi kritis, terutama karena jembatan tersebut berada di wilayah yang paling parah terdampak banjir. Kondisi ini memperburuk kemampuan jalur evakuasi dalam mendukung mobilisasi warga saat terjadi banjir. Situasi ini semakin kompleks jika mempertimbangkan tingginya tingkat kepadatan penduduk di sekitar wilayah tersebut. Ketergantungan pada satu jalur evakuasi yang terhenti sementara akibat banjir dapat menghambat proses evakuasi secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan upaya perbaikan infrastruktur, seperti peningkatan ketinggian jembatan dan diversifikasi jalur evakuasi, untuk mengatasi permasalahan ini. Hal ini bertujuan untuk memastikan aksesibilitas dan kelancaran evakuasi dalam situasi darurat banjir di masa mendatang.

Selanjutnya, pada jembatan 3, penurunan nilai integrasi tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan dengan jembatan 2. Sama seperti jembatan lainnya, penurunan terbesar terjadi pada ketinggian banjir 150 cm, dengan nilai sebesar 5,3%. Meskipun demikian, hal ini tidak boleh diabaikan, karena berdasarkan hasil pengamatan terhadap model peta yang dihasilkan, jembatan ini tetap memiliki hubungan langsung dengan wilayah terdampak banjir. Selain itu, jembatan 3 terletak pada jalan arteri (utama), yang membuatnya menjadi infrastruktur strategis. Dengan demikian, jika jembatan ini tidak berfungsi atau mengalami penurunan integrasi yang signifikan, ada kemungkinan wilayah sekitarnya juga akan mengalami gangguan fungsi yang berdampak pada mobilitas dan aksesibilitas.

Perbandingan kinerja jaringan jalan di antara ketiga jembatan sebelum terdampak banjir menunjukkan bahwa jembatan 1 memiliki nilai rata-rata integrasi sebesar 0,581, yang merupakan nilai terendah dibandingkan dengan jembatan 2 dan jembatan 3, yang memiliki nilai rata-rata integrasi lebih dari 0,7. Berdasarkan penilaian tersebut, dapat disimpulkan bahwa jembatan 2 dan 3 memiliki fungsi yang lebih strategis dalam mendukung kinerja jaringan jalan secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa jembatan 2 dan 3 menjadi elemen kunci dalam menjaga konektivitas wilayah terdampak

banjir, terutama mengingat tingkat penurunan integrasi yang sangat signifikan pada ketinggian banjir tertentu.

Sebagai upaya mitigasi, penting untuk memperkuat fungsi jembatan 2 dan jembatan 3 melalui peningkatan infrastruktur, seperti penyesuaian ketinggian untuk menghadapi potensi genangan. Selain itu, diperlukan pengembangan jalur alternatif atau penguatan konektivitas di wilayah sekitar untuk mengurangi ketergantungan pada satu jalur utama. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan resiliensi jaringan jalan terhadap bencana banjir, sekaligus menjaga stabilitas mobilitas dan aktivitas ekonomi di wilayah yang terdampak.

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Jaringan Jalan Penghubung antar Wilayah

	0cm/24 jam	60cm/24 jam	100 cm/24 jam	150 cm/24 jam
Jembatan 1	0,581	0,575 -1,0%	0,571 -1,7%	0,568 -2,2%
Jembatan 2	0,728	0,724 -0,5%	0,614 -15,7%	0,411 -43,5%
Jembatan 3	0,825	0,812 -1,6%	0,793 -3,9%	0,781 -5,3%

Kesimpulan

Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *Depthmap* berhasil menggambarkan nilai kerentanan jaringan jalan secara makro dalam mendukung program normalisasi sungai yang direncanakan oleh pemerintah. Penelitian ini menunjukkan bahwa model berbasis teori sintaksis ruang mampu memberikan evaluasi yang efektif terhadap dampak banjir pada jaringan jalan perkotaan. Simulasi tersebut menghasilkan nilai perbandingan yang objektif dan spesifik, baik saat lokasi terdampak bencana banjir maupun saat tidak terjadi bencana.

Temuan ini memperkuat kesimpulan bahwa program normalisasi sungai tidak hanya memperbaiki kondisi fisik wilayah terdampak banjir, tetapi juga memberikan dampak positif terhadap pemerataan fungsi dan kinerja jaringan jalan di wilayah tersebut. Pemerataan ini penting untuk mengurangi ketimpangan distribusi beban lalu lintas pada jaringan jalan, sehingga efisiensi transportasi meningkat dan mobilitas masyarakat di daerah terdampak banjir dapat lebih terjamin. Dengan demikian, program normalisasi berpotensi menjadi salah satu langkah strategis dalam manajemen infrastruktur perkotaan, khususnya di wilayah yang kerap menghadapi permasalahan banjir.

Wilayah yang terisolasi, sebagaimana digambarkan dalam simulasi, menjadi representasi nyata dari kerentanan infrastruktur terhadap ancaman bencana banjir. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan jaringan jalan yang lebih adaptif dan terpadu, dengan mempertimbangkan integrasi yang optimal antara berbagai tipe jaringan jalan. Pendekatan ini dapat meminimalkan risiko wilayah yang terisolasi akibat banjir, sekaligus meningkatkan resiliensi infrastruktur transportasi dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan urbanisasi. Selain itu, ketergantungan pada satu jalur evakuasi yang terhenti sementara akibat banjir dapat menghambat proses evakuasi secara signifikan. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan upaya perbaikan infrastruktur, seperti peningkatan ketinggian jembatan dan diversifikasi jalur evakuasi. Hal ini bertujuan untuk memastikan aksesibilitas dan kelancaran evakuasi dalam situasi darurat banjir di masa mendatang.

Model peta jaringan jalan yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kondisi eksisting, dengan penambahan rekayasa sederhana yang mempertimbangkan

ketinggian genangan banjir sebagai variabel utama. Namun, model tersebut belum memasukkan faktor-faktor lain yang relevan, sehingga hasil pengujian ini masih jauh dari kata sempurna. Meskipun demikian, hasil ini dapat digunakan sebagai salah satu indikator awal dalam perencanaan atau peningkatan jaringan jalan, terutama dalam mitigasi banjir dan alokasi sumber daya untuk tanggap darurat. Penilaian lebih lanjut diperlukan dengan memasukkan berbagai aspek lainnya, seperti jumlah penduduk, jenis penggunaan lahan, dan volume lalu lintas.

Dampak yang disebabkan oleh banjir mencakup banyak aspek yang berbeda, termasuk sosial, ekonomi, dan infrastruktur. Oleh karena itu, kombinasi analisis aksesibilitas dengan alat lain yang dapat memadukan berbagai jenis data menjadi penting untuk memperkaya analisis. Dengan melakukan pendekatan ini, kita dapat memperdalam pemahaman mengenai dampak banjir terhadap kehidupan masyarakat di perkotaan, khususnya di kota-kota yang rawan banjir seperti Jakarta. Penyelidikan lebih lanjut diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih komprehensif dan aplikatif dalam menghadapi tantangan banjir di masa depan.

Daftar Pustaka

- Al-Sayed, K., Turner, A., Hillier, B., Iida, S., & Penn, A. (2014). *Space syntax methodology*. Bartlett School of Architecture, UCL: London, UK.
- Atelia, S. F., Hidayat, R., & Rizki, M. F. (2022). Analisis Kesiapsiagaan Pemerintah dan Masyarakat Dalam Menghadapi Bencana Banjir di Wilayah Kampung Melayu Kota Jakarta Timur. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(14), 297–307.
- Barada, W. P. (2013). Analisis Space Syntax Rumah Susun Berbasis Gang Kampung.
- Creswell, J. W. (2015). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- Gil, J., & Steinbach, P. (2008). "From flood risk to indirect flood impact: evaluation of street network performance for effective management, response and repair", *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 118, 335-344.
- Harahap, F. R. (2013). Dampak urbanisasi bagi perkembangan kota di Indonesia. *Society*, 1(1), 35-45.
- Klarqvist, B. (2015). *A space syntax glossary*. NA, 6(2).
- Kustianingrum, D. D., & Haerdy, R. S. M. (2023). *Syntax of Spatial Pattern of Informal Settlement Area of Sentra Tahu Cibuntu, Bandung*. *Border*, 5(2), 16-26.
- Kuzma, S. and Lui, T. (2020). *The Number of People Affected by Floods Will Double Between 2010 and 2030*, *World Resource Institute*. Diperoleh 22 Januari 2023 dari <https://www.wri.org/resources/type/insights-50>
- Maulida, S., Safitri, M. A., & Wijaya, E. (2022). Sinkronisasi Peraturan Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah Mengenai Pengendalian Banjir di Jakarta. *Jurnal Manajemen Bencana*, 8(1), 47–70.
- Pantau Banjir Jakarta. (2020). Data Banjir Lintas Tahun. Diperoleh 23 Maret 2024 dari <https://pantaubanjir.jakarta.go.id/>
- Ramadhani, F. (2021). Pemodelan Kepemilikan Kendaraan Pribadi Berdasarkan Karakteristik Rumah Tangga (Studi Kasus Di Daerah Istimewa Yogyakarta).
- Robbani, M. H., Siswanto, A., & Teddy, L. (2020). Mitigasi Bencana Banjir di Area Tepian Sungai Ciliwung Jakarta. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 610-613

|||

- Suryanti, N., Brintiska Putri, K., & Saniyah Taqiyah, Y. (2020). Pengaruh urbanisasi terhadap permukiman kumuh di kawasan Penjaringan Jakarta Utara.
- Turner, A. (2004). *Depthmap 4: a researcher's handbook*.
- Ward, P. J., Marfai, M. A., Yulianto, F., Hizbaron, D. R., & Aerts, J. C. J. H. (2011). *Coastal Inundation and Damage Exposure Estimation: A Case Study for Jakarta, Natural Hazards*, 56(3), 899-916.
- Yamu, C., Van Nes, A., & Garau, C. (2021). "Bill Hillier's legacy: Space syntax—A synopsis of basic concepts, measures, and empirical application", *Sustainability*, 13(6), 3394.
- Van Nes, A., & Yamu, C. (2021). *Introduction to space syntax in urban studies* (p. 250). Springer Nature.