



## SPASIAL KONFIGURASI KAWASAN PERMUKIMAN PASKA GEMPA DI GASOL, CIANJUR

Heru Wibowo<sup>1</sup>, Nitih Indra Komala Dewi<sup>2</sup>, Wahyu Buana Putra<sup>3</sup>

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Kebangsaan<sup>1</sup>,

Program Studi Arsitektur, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia<sup>2</sup>.

Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia<sup>3</sup>.

E-mail: [heruwibowo.ukri@gmail.com](mailto:heruwibowo.ukri@gmail.com), [nitih@upi.edu](mailto:nitih@upi.edu)

### Informasi Naskah:

Diterima:  
5 September 2024

Direvisi:  
13 Oktober 2024

Disetujui terbit:  
15 Desember 2024

Diterbitkan:  
Cetak:  
29 Desember 2024

Online  
29 Desember 2024

**Abstract.** Earthquakes have a significant impact on the spatial structure of urban networks, as observed in Kampung Nagrog, Desa Gasol, following the Sesar Cugenang earthquake. The impacts include fragmentation of the spatial network, reduced accessibility, and changes to the spatial configuration of residential areas. This study aims to analyze the spatial changes in the residential area before and after the earthquake using the Space Syntax method. This method was employed to identify changes in spatial parameters such as connectivity, integration, and Visibility, supporting more effective disaster risk mitigation strategies. The findings indicate a decline in connectivity, Point First Moment, and Point Second Moment, reflecting the fragmentation of the spatial network. However, the increase in Gate Counts suggests that certain routes have become primary pathways post-disaster. A spatial reconfiguration of the area is recommended to improve accessibility and Visibility, with priority given to evacuation routes in areas with high Gate Counts.

**Keyword:** space syntax, mitigation, depthmapx, post-earthquake settlement.

**Abstrak:** Gempa bumi memberikan dampak signifikan terhadap struktur jaringan ruang, seperti yang terjadi di Kampung Nagrog, Desa Gasol, akibat gempa Sesar Cugenang. Dampaknya mencakup fragmentasi jaringan ruang, penurunan aksesibilitas, serta perubahan tata ruang permukiman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan spasial kawasan permukiman sebelum dan sesudah gempa dengan menggunakan metode Space Syntax. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi perubahan parameter spasial, seperti konektivitas, integrasi, dan visibilitas, serta mendukung strategi mitigasi risiko bencana yang lebih efektif. Hasil penelitian menunjukkan penurunan parameter *connectivity*, *Point First Moment*, dan *Point Second Moment*, yang mencerminkan fragmentasi jaringan ruang. Namun, peningkatan *Gate Counts* mengindikasikan beberapa jalur menjadi rute utama pasca bencana. Penataan ulang kawasan direkomendasikan untuk meningkatkan aksesibilitas dan visibilitas, dengan memprioritaskan jalur evakuasi pada area dengan *Gate Counts* tinggi.

**Kata Kunci:** space syntax, mitigasi, depthmapx, permukiman paska gempa.

### PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang memiliki potensi untuk menimbulkan dampak yang luas dan mendalam terhadap permukiman manusia. Dalam konteks ini, dampak yang ditimbulkan tidak hanya bersifat fisik, tetapi juga sosial dan ekonomi. Kerusakan infrastruktur yang diakibatkan oleh gempa bumi sering kali bersifat merusak, dengan bangunan, jembatan, dan jalan raya yang hancur, serta fasilitas umum yang terganggu. Hal ini menyebabkan disrupsi dalam layanan dasar yang krusial, seperti transportasi, penyediaan air bersih, dan pasokan listrik, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas hidup masyarakat.

Wilayah Kampung Nagrog, Desa Gasol merupakan wilayah yang terdampak Gempa Sesar Cugenang. Saat gempa terjadi Bangunan-bangunan banyak yang hancur dan menutupi jalan, menyebabkan terhambatnya proses evakuasi dan masuknya

bantuan. Hampir 1,5 tahun yang lalu gempa besar terjadi, dan sampai dengan saat ini masih terjadi gempa-gempa kecil di wilayah Cianjur, meski demikian masyarakat telah membangun kembali huniannya, beberapa hunian dibangun dengan belajar dari kejadian gempa sebelumnya dan beberapa lainnya masih menggunakan metode membangun yang rentan terhadap bencana gempa. Sehingga terbentuklah tatanan permukiman baru paska gempa.

Gempa bumi memberikan peluang evaluasi ulang tata ruang permukiman. Dalam konteks yang positif, akan menghasilkan perencanaan yang lebih baik, pembangunan hunian dan kawasan kembali lebih memperhatikan aspek keselamatan terhadap gempa. Infrastruktur publik, seperti jalan, sistem drainase, dan layanan publik dirancang lebih baik untuk menghadapi bencana gempa dimasa mendatang. Namun dalam konteks negatif,

perubahan yang terjadi tanpa intervensi yang tepat, sehingga menyebabkan penurunan kualitas ruang kawasan permukiman. Masyarakat membangun kembali hunian secara cepat tanpa mengikuti standar keselamatan terhadap gempa, akibat keterbatasan biaya akibat bencana yang terjadi secara tiba-tiba.

Perubahan signifikan dalam tatanan kawasan permukiman penduduk akibat gempa, seperti yang terjadi di Jepang, dimana gempa bumi menyebabkan restrukturisasi internal area yang terkena dampak. Jumlah populasi total tetap stabil dalam jangka panjang, namun dengan kejadian gempa memberikan potensi pengembangan kembali dengan kepadatan yang lebih tinggi di lokasi inti, yang sebelumnya menghadapi hambatan pengembangan (Xu & Wang, 2019).

Perubahan tatanan kawasan permukiman akibat gempa bumi sering kali memerlukan pendekatan ilmiah untuk memastikan bahwa rekonstruksi tidak hanya memperbaiki kerusakan, tetapi juga menciptakan lingkungan yang lebih tangguh terhadap bencana di masa depan. Dalam konteks ini, metode *Space Syntax* menjadi alat yang sangat relevan.

*Space Syntax* digunakan untuk menilai dampak banjir pada jaringan ekonomi, menyoroti pentingnya menjaga konektivitas untuk meminimalkan gangguan ekonomi, diterapkan untuk memperkirakan kerugian ekonomi tidak langsung dari bencana alam dengan menganalisis perubahan konfigurasi spasial. (Penchev, 2017). *Space Syntax* membantu dalam memahami konfigurasi spasial daerah perkotaan yang penting untuk mengidentifikasi zona rentan di Kota Nador dengan memanfaatkan kumpulan data spasial untuk menilai kerentanan kawasan perkotaan, memfokuskan pada analisis spasial dalam mengidentifikasi area berisiko tinggi karena formasi geologi dan kepadatan perkotaan (Hlal et al., 2024). Penilaian kerentanan gempa bumi, mengidentifikasi zona dengan risiko seismik tinggi berdasarkan faktor spasial dan geologis di kota Quetta, dengan menggunakan metode *Space Syntax*. (Jamal-ud-din et al., 2023).

Selain itu *Space Syntax* juga berperan penting dalam memprediksi perilaku dan pergerakan manusia di dalam ruang perkotaan, yang sangat penting untuk merencanakan rute evakuasi dan strategi tanggap darurat. Kemampuan prediktif ini dapat meningkatkan kinerja ruang perkotaan dalam skenario bencana (Mahmoud et al., 2023)

Gempa bumi secara tidak langsung mengubah tatanan kawasan permukiman dengan merestrukturisasi area yang terkena dampak, terjadi sirkulasi, tatanan masa bangunan dan infrastruktur kawasan, sehingga mengubah jumlah dan bahkan kualitas bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan spasial kawasan permukiman sebelum dan sesudah gempa terjadi. Metode *Space Syntax* digunakan untuk memahami karakter perubahan kawasan permukiman dan mengidentifikasi strategi mitigasi risiko bencana

yang lebih efektif dan memberikan dasar untuk perencanaan kawasan yang responsif terhadap bencana dan mendukung pembangunan yang berorientasi pada keberlanjutan.

## TINJUAN PUSTAKA

*Space Syntax* adalah metode analisis yang digunakan untuk memahami dan menggambarkan konfigurasi ruang dalam konteks arsitektur dan perencanaan kota. Metode ini dikembangkan oleh Bill Hillier dan rekan-rekannya pada tahun 1970-an dan telah menjadi alat penting dalam studi tentang bagaimana struktur ruang mempengaruhi perilaku manusia dan interaksi sosial (Leite et al., 2024; Yamu et al., 2021). *Space Syntax* berfokus pada hubungan antara ruang dan aktivitas manusia, dengan menggunakan berbagai teknik analisis untuk mengukur dan memetakan pola pergerakan dan penggunaan ruang (Khairanisa, 2022) (Mahmoud et al., 2023). Salah satu aspek utama dari *Space Syntax* adalah kemampuannya untuk menganalisis konektivitas dan integrasi ruang, dengan menggunakan representasi grafis dari ruang, seperti peta axial, peneliti dapat mengidentifikasi pola pergerakan pengguna dan hubungan antar ruang yang mempengaruhi aksesibilitas dan penggunaan ruang tersebut (Liu et al., 2015) ; (Wang & Huang, 2019). Misalnya, penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi ruang yang baik dapat meningkatkan interaksi sosial dan aktivitas publik, yang sangat penting dalam menciptakan lingkungan yang nyaman dan fungsional (Bendjedidi et al., 2019) (Amalia et al., 2022).

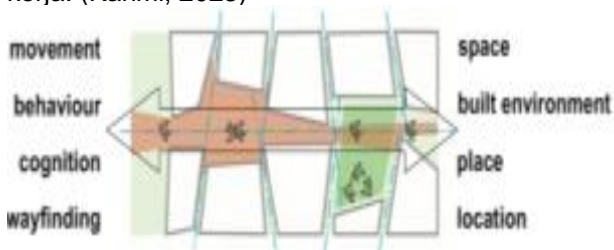
Adapun elemen dasar dalam sintaksis ruang: (a) Ruang *Axial*, digunakan untuk menganalisis sistem perkotaan melalui peta aksial yang menggambarkan jalur pergerakan utama dalam suatu ruang; (b) Ruang Cembung: Memfasilitasi interaksi sosial dengan memungkinkan pengguna untuk saling melihat dalam suatu area

*Space Syntax* merupakan metode analisis yang sangat relevan dalam konteks mitigasi dan evakuasi gempa. Metode ini memungkinkan peneliti dan perencana untuk memahami konfigurasi ruang (AlNaim, 2021) dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi pergerakan manusia dalam situasi darurat. Dalam konteks ini, *Space Syntax* dapat digunakan untuk menganalisis aksesibilitas dan efektivitas rute evakuasi, yang sangat penting dalam perencanaan kota yang tahan bencana (Tsai & Chang, 2023) (Jumaylinda Gultom et al., 2022). Lebih lanjut, penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan *Space Syntax* dalam perencanaan evakuasi dapat meningkatkan ketahanan kota terhadap bencana, dengan menganalisis konfigurasi ruang, perencana dapat merancang sistem evakuasi yang lebih efisien, yang pada gilirannya dapat mengurangi risiko dan meningkatkan keselamatan masyarakat selama kejadian bencana seperti gempa bumi (Trivedi & Singh, 2017)..

Dalam menghadapi kompleksitas analisis spasial, sintaks ruang mengadopsi pendekatan yang sederhana. Pendekatan ini dimulai dengan mengidentifikasi pola-pola interaksi yang paling mendasar dan umum terjadi antara individu dan ruang. Proses ini didasarkan pada fokus utama terhadap indra manusia yang dominan—penglihatan dan fungsi utamanya, yaitu pergerakan—dua aspek mendasar yang, jika dihilangkan dari sebuah kota, akan membuatnya tidak dapat dikenali. (Karimi, 2023)

Dasar pemikiran di balik pendekatan ini adalah memahami cara-cara kompleks di mana individu berinteraksi dengan dan memanfaatkan setiap komponen sistem spasial, dengan mempertimbangkan aspek-aspek ini, muncul metode kajian yang secara efektif menyatukan dimensi spasial kota, yang didefinisikan oleh atribut fisiknya, dengan dimensi manusia yang diwujudkan oleh para penghuninya. (Karimi, 2023)

Metodologi *Space Syntax* memanfaatkan dua fungsi dasar manusia—*Visibility* (visibilitas) dan *movement* (pergerakan)—untuk memetakan tata letak ruang-ruang perkotaan. Manusia memahami lingkungan sekitar mereka melalui bidang pandangan, bernavigasi dalam garis lurus, dan berinteraksi di ruang-ruang cembung (*convex spaces*), dengan merepresentasikan dan menganalisis sistem spasial menggunakan konsep-konsep ini, kita dapat membangun model yang menyatukan konfigurasi spasial dan interaksi manusia dalam satu kerangka kerja. (Karimi, 2023)

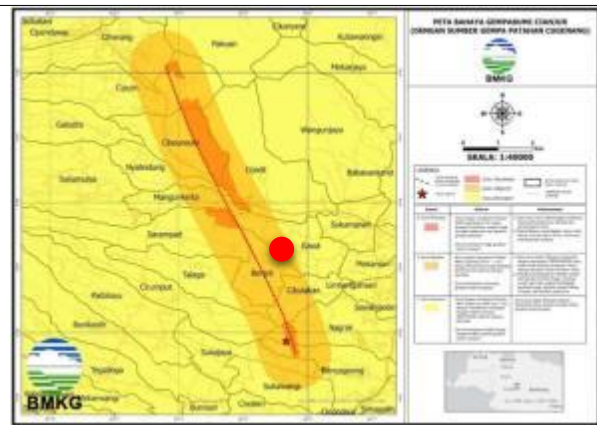


**Gambar 1.** *Visibility* dan Pergerakan  
sumber : (Karimi, 2023)

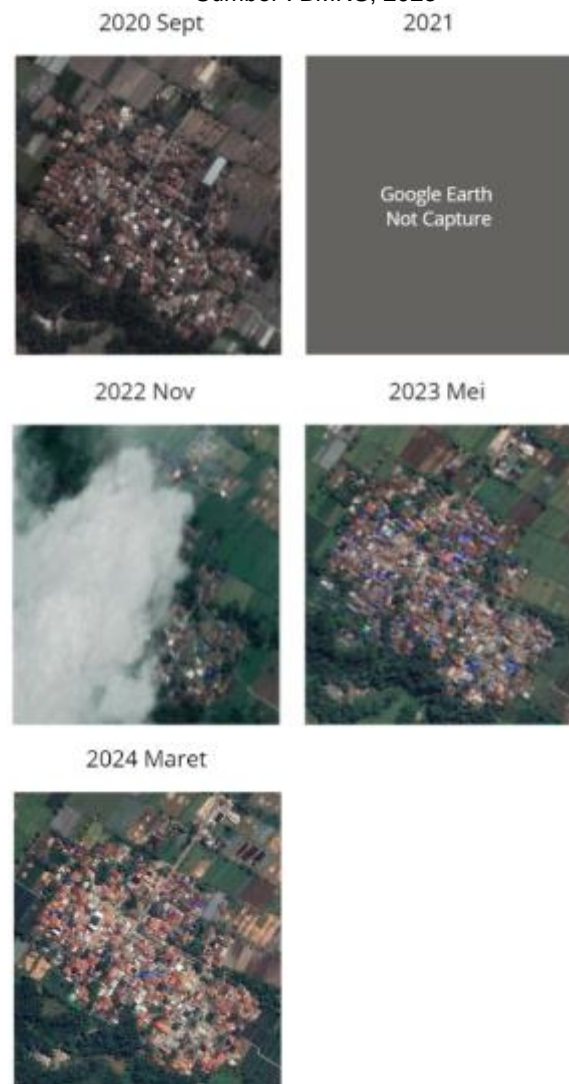
Pendekatan metodologi *Space Syntax* untuk merepresentasikan sistem spasial didasarkan pada pemecahan sistem spasial keseluruhan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan ruang-ruang cembung (*convex spaces*). Ruang cembung ini memiliki kualitas unik, di mana setiap lokasi dalam ruang tertentu tetap dapat terlihat dari titik mana pun di dalam ruang yang sama.

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan *Space Syntax* sebagai alat utama analisis. Studi kasus dilakukan di wilayah permukiman Gasol, Kampung Nagrog, Kecamatan Cugenang. Kampung Nagrog memiliki luas wilayah terbangun kurang lebih 8 Ha, dengan Jalan Sadulur sebagai sirkulasi utama yang menghubungkan kampung disekitar gasol, dan merupakan salah satu dari beberapa Kampung di Desa Gasol yang terdampak Gempa Sesar Cugenang.



**Gambar 2.** Posisi Gasol Berdekatan dengan Garis Sesar Cugenang  
Sumber : BMKG, 2023



**Gambar 3.** *Historical Image* Kampung Nagrog  
Sumber : Google Earth Pro, 2024

Data Citra Spasial menggunakan aplikasi *Google Earth Pro*, untuk menelusuri *historical image* kawasan Kampung Nagrog. Data Citra Spasial tahun 2020 digunakan untuk data dan analisis kawasan permukiman sebelum terjadi gempa, hal ini dikarenakan Data Citra Spasial tahun 2021 dimiliki oleh Google Earth, sedangkan Data Citra Spasial tahun 2022 sebagian besar wilayah tertutup

awan sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan. Kejadian gempa pada bulan November 2022, sehingga data citra spasial tahun 2023 pada bulan Mei yang dimiliki *Google Earth Pro* sangat bermanfaat untuk melihat bangunan-bangunan yang telah diratakan dengan tanah menunggu bantuan untuk dibangun kembali, karena pada 6 bulan paska gempa, masyarakat masih menunggu bantuan dari pemerintah, sehingga masih banyak bangunan-bangunan yang belum terbangun. Selanjutnya data citra spasial *Google Earth Pro* bulan Maret tahun 2024, memberikan informasi awal bagi peneliti yang sangat penting, terkait perubahan konfigurasi masa hunian yang terbangun.

Data lapangan digunakan untuk melengkapi data real kondisi eksisting Kampung Nagrog, berupa data citra spasial yang diambil menggunakan Drone, yang kemudian diolah menggunakan metode *photogrammetry* untuk menghasilkan orthophoto kawasan (Putra et al., 2023). Agar memperoleh data yang lebih valid dan komprehensif, dilakukan metode survei lapangan secara langsung dengan menelusuri Kampung Nagrog. Survei bertujuan untuk mengonfirmasi dan mengontrol data kawasan yang telah diperoleh sebelumnya melalui analisis citra spasial drone.

Meskipun citra drone memberikan gambaran umum yang luas, terdapat keterbatasan dalam mengidentifikasi jalan permukiman dan bagian kawasan yang tertutup oleh atap hunian, dengan menyusuri langsung kawasan permukiman, tim penelitian dapat melihat kondisi eksisting secara lebih detail, mendokumentasikan aspek-aspek yang tidak terlihat dalam citra drone, serta berdiskusi langsung dengan masyarakat setempat. Pendekatan ini memastikan bahwa data yang diperoleh akurat dan mencerminkan kondisi lapangan sebenarnya, sehingga mendukung analisis dan perencanaan yang lebih tepat sasaran.



**Gambar 4.** Aktivitas Survei Lapangan

Prosedur analisis dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan untuk memastikan hasil yang komprehensif dan akurat. Tahap pertama adalah penelusuran dan pengolahan citra dari *Google Image* untuk memperoleh gambaran awal kawasan studi. Data ini kemudian dilengkapi dengan pengumpulan data lapangan yang dilakukan menggunakan drone untuk menangkap citra spasial dengan resolusi tinggi serta survei langsung untuk mengonfirmasi kondisi eksisting di lapangan. Setelah itu, dilakukan pemetaan vektor kawasan sebelum dan sesudah gempa untuk

memvisualisasikan perubahan tata ruang secara spasial. Selanjutnya, analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *DepthmapX*, yang memungkinkan evaluasi konfigurasi ruang dengan fokus pada parameter seperti konektivitas dan kedalaman jaringan ruang. Hasil dari analisis ini diinterpretasikan dengan penekanan pada visibilitas dan aksesibilitas ruang, untuk mengidentifikasi area rentan dan potensi perbaikan tata ruang dalam rangka meningkatkan ketahanan kawasan terhadap bencana di masa depan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

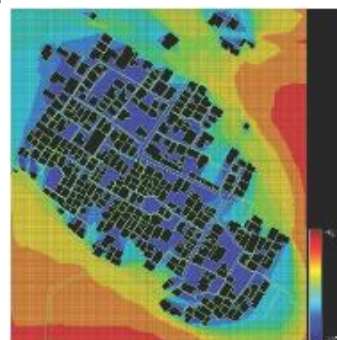
### 1. Analisis Kawasan Sebelum Terjadi Gempa

Data Citra spasial kawasan sebelum terjadi gempa, dikonversi ke dalam format *vector.dxf*. Konversi ini bertujuan untuk menyediakan model spasial kawasan yang lebih terstruktur, sehingga memungkinkan untuk dilakukan identifikasi elemen-elemen kawasan seperti jalan, bangunan, dan ruang terbuka secara lebih jelas. Data vektor kemudian digunakan dalam perangkat lunak *DepthmapX* untuk menganalisis tata ruang kawasan, seperti *Visibility*, dan *Axial Analysis*.



**Gambar 5:** Hasil Vektor Map Kampung Nagrog sebelum Gempa.

Gambar 5, vektor Kampung Nagrog sebelum gempa, menginformasikan persebaran blok bangunan (warna *magenta*) dan blok bangunan yang tidak terbangun kembali setelah gempa (warna *orange*), serta sirkulasi jalan yang dapat dilalui kendaraan roda dua di dalam kawasan permukiman (warna kuning). Selain itu terlihat bahwa blok-blok bangunan di tengah kawasan tidak terdapat sirkulasi, hal ini dikarenakan sirkulasi yang ada tidak memadai dilewati kendaraan, berupa gang sempit dan jalan setapak yang hanya bisa dilalui oleh orang.



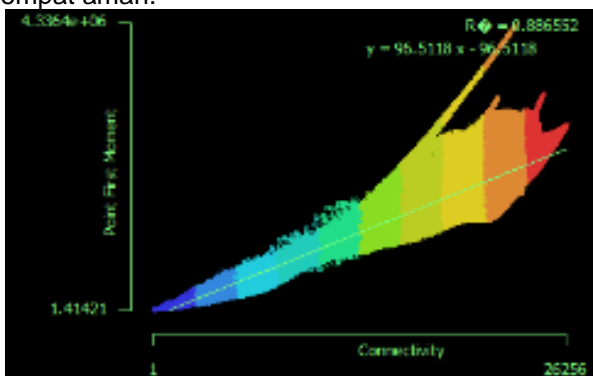
**Gambar 6:** *Visibility Graph Analysis* Kampung Nagrog sebelum Gempa

Gambar 6, hasil *Visibility Graph Analysis* (VGA) menggambarkan distribusi visibilitas di Kampung Nagrog sebelum gempa. Warna pada peta menunjukkan tingkat visibilitas, dimana warna merah hingga kuning merepresentasikan visibilitas tinggi, sementara warna biru hingga hijau menunjukkan visibilitas rendah.

Terlihat bahwa area dengan visibilitas tertinggi didominasi oleh bagian luar kawasan, khususnya pada area tepi dan jalan utama. Sebaliknya, bagian dalam kawasan memiliki visibilitas yang relatif rendah, yang ditandai dengan dominasi warna biru. Hal ini menunjukkan bahwa jarak visual individu di dalam kawasan sebelum gempa cenderung terbatas, kemungkinan disebabkan oleh tata ruang yang padat dengan bangunan berdekatan dan jalan yang sempit.

Pola visibilitas ini memberikan gambaran bahwa area dalam kawasan kurang optimal dari segi orientasi ruang, yang dapat mempengaruhi aksesibilitas dan potensi efisiensi jalur evakuasi.

Faktor visibilitas dalam kawasan permukiman memainkan peran penting dalam menentukan keputusan individu saat memilih arah penyelamatan diri dalam situasi darurat. Penelitian menunjukkan bahwa visibilitas yang baik dapat meningkatkan kesadaran situasional dan memfasilitasi saat pengambilan keputusan yang lebih cepat dan efektif selama evakuasi (Adhiutama et al., 2021; Chen et al., 2020). Ketika individu dapat melihat rute evakuasi yang jelas dan akses ke tempat perlindungan, mereka cenderung lebih percaya diri dalam keputusan mereka untuk bergerak menuju tempat aman.

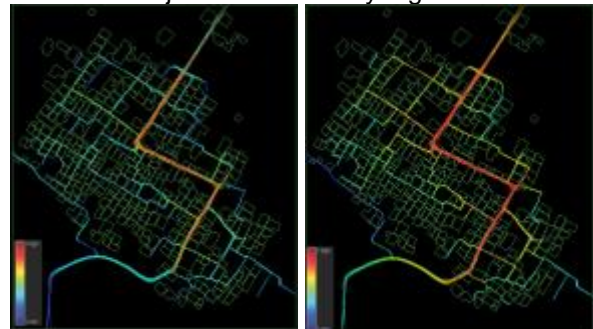


**Gambar 7:** Hubungan *Point First Moment* dengan *Connectivity* Sebelum Gempa

*Connectivity* mengukur jumlah koneksi langsung dari suatu titik dalam ruang ke titik lain yang terlihat (*visible*) (AINaim, 2021). Semakin tinggi nilai konektivitas, semakin banyak titik yang dapat dilihat langsung dari titik tersebut (Andi et al., 2021). Nilai yang lebih tinggi menunjukkan area dengan visibilitas tinggi, sementara nilai rendah menunjukkan area yang lebih tersembunyi atau terisolasi (Djenaihi et al., 2021). *Point First Moment* menggambarkan jarak rata-rata dari suatu titik ke semua titik lain yang terlihat dari titik tersebut (Cardinal & Hoffmann, 2017). Nilai tinggi menunjukkan bahwa titik tersebut lebih jauh secara rata-rata dari titik lain dalam jaringan visibilitas,

sedangkan nilai rendah menunjukkan bahwa titik lebih dekat ke titik-titik lain (Dong et al., 2019).

Grafik pada Gambar 7. menunjukkan hubungan positif linear antara *Connectivity* dan *Point First Moment*, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan  $y=96.5118 x-96.5118$ , yang berarti ketika *Connectivity* meningkat, maka *Point First Moment* juga meningkat. Menunjukkan bahwa semakin banyak koneksi langsung yang dimiliki suatu titik, semakin jauh rata-rata jarak titik-titik yang terhubung. Nilai  $R^2=0.886552$  menunjukkan bahwa 88,7% variasi dalam *Point First Moment* dapat dijelaskan oleh *Connectivity*, menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara kedua variabel. Area dengan Koneksi Tinggi, terdapat pada titik kawasan yang dapat terlihat langsung, tetapi rata-rata jaraknya lebih jauh, hal tersebut terjadi pada area terbuka yang luas atau ruang besar dengan visibilitas tinggi. Area dengan Koneksi Rendah, memiliki visibilitas yang terbatas, terlihat pada ruang-ruang pada kawasan permukiman yang padat dengan hunian, sehingga cenderung tertutup, sempit, atau terisolasi. Hasil ini menunjukkan bagaimana visibilitas dan konektivitas ruang berkaitan erat dalam tata ruang. Ruang dengan *connectivity* tinggi cenderung memiliki visibilitas lebih luas tetapi dengan jarak rata-rata lebih jauh (terdistribusi), sementara ruang dengan *connectivity* rendah menunjukkan visibilitas yang lebih terbatas.

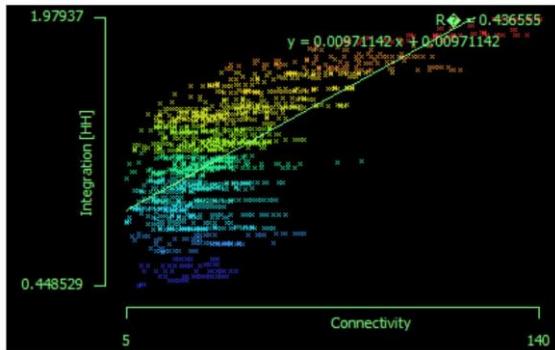


**Gambar 8:** (Kiri) *Connectivity*; (Kanan) *Integration HH* Sirkulasi Kawasan Sebelum Gempa

Analisis *Connectivity* menunjukkan tingkat keterhubungan langsung setiap ruas jalan dengan jalan lain di sekitarnya. Jalur dengan warna merah menunjukkan ruas jalan dengan tingkat konektivitas tertinggi, artinya ruas ini terhubung langsung dengan banyak ruas jalan lainnya di kawasan tersebut. Dalam konteks ini, jalur utama seperti Jalan Sadulur tampak memiliki konektivitas yang tinggi, mencerminkan perannya sebagai akses utama di kawasan tersebut. Ruas jalan dengan warna biru atau hijau memiliki tingkat konektivitas yang lebih rendah, menunjukkan bahwa jalan-jalan tersebut lebih bersifat lokal atau tersier.

Analisis *Integration HH* menggambarkan tingkat integrasi atau keterhubungan global setiap ruas jalan dengan seluruh jaringan jalan di kawasan tersebut (Andi Andre Pratama Putra et al., 2023). Ruas jalan dengan warna merah memiliki tingkat integrasi tertinggi, yang berarti jalan tersebut berperan sebagai sumbu utama atau jalur yang paling strategis dalam pergerakan kawasan secara

keseluruhan. Jalan Sadulur, yang juga terlihat dominan dalam analisis konektivitas, memiliki nilai integrasi tinggi, menunjukkan pentingnya jalan ini dalam memfasilitasi pergerakan lintas kawasan. Jalan ini mungkin menjadi pilihan utama untuk rute perjalanan antar wilayah. Ruas dengan warna biru memiliki nilai integrasi rendah, yang menandakan bahwa ruas tersebut lebih terisolasi dan kurang digunakan sebagai jalur utama dalam jaringan keseluruhan.



**Gambar 9:** Diagram Scatter Integration dan *Connectivity* Kawasan sebelum gempa

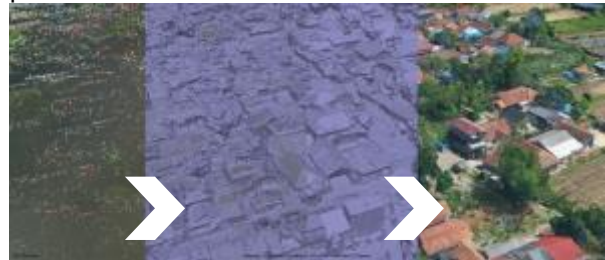
Gambar Diagram menunjukkan hubungan linear positif antara *connectivity* dan *integration*. Koefisien Determinasi Nilai  $R^2 = 0.436555$  menunjukkan bahwa terdapat hubungan moderat antara *connectivity* dan *integration* di kawasan ini. Semakin tinggi nilai *connectivity*, semakin tinggi pula nilai *integration*. Ini menegaskan bahwa jalan-jalan dengan konektivitas tinggi cenderung memiliki peran lebih besar dalam menghubungkan kawasan secara global. Sedangkan pola sebaran data memperlihatkan distribusi nilai *integration* dan *connectivity* yang tidak merata. Jalan-jalan dengan *connectivity* rendah (di sisi kiri diagram) cenderung memiliki *integration* rendah, yang menunjukkan bahwa jalan-jalan ini memiliki peran lokal yang terbatas. Sebaliknya, titik-titik di bagian kanan atas diagram menunjukkan jalan-jalan dengan *connectivity* tinggi dan *integration* tinggi, seperti Jalan Sadulur, yang berfungsi sebagai sumbu utama pergerakan.

## 2. Analisis Kawasan Setelah terjadi gempa

Citra spasial kawasan pasca gempa diperoleh melalui pengolahan data yang diambil menggunakan drone. Data ini kemudian diolah untuk menghasilkan model 3D kawasan, yang memberikan visualisasi detail mengenai karakteristik dan struktur spasial kawasan. Rekonstruksi 3D ini mempermudah peneliti dalam memahami perubahan yang terjadi serta memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi kawasan pasca gempa.

Tahap awal pengolahan citra adalah menghasilkan *point cloud* yang merepresentasikan permukaan kawasan secara tiga dimensi. Titik-titik ini mencakup elemen-elemen penting seperti atap bangunan, vegetasi, dan permukaan tanah, yang dihasilkan dari penggabungan data citra drone melalui metode fotogrametri. Selanjutnya merekonstruksi mesh, yaitu proses penggabungan

titik-titik pada *point cloud* menjadi jaringan segitiga yang membentuk permukaan 3D, hingga menghasilkan rekonstruksi dengan detail lebih baik, di mana struktur bangunan, vegetasi, dan elemen lainnya mulai terlihat jelas. Mesh memberikan kerangka spasial yang lebih realistis, memungkinkan visualisasi kawasan dalam bentuk 3D yang solid. Kemudian diakhiri dengan pembuatan *textured 3D model*, tekstur dan warna dari citra asli ke permukaan mesh. Model ini memberikan visualisasi yang akurat untuk analisis spasial dan pemetaan dokumentasi perubahan pasca bencana. Lihat Gambar 10.



**Gambar 10 :** Tahapan Citra Image Drone Kawasan Menjadi 3D Kawasan

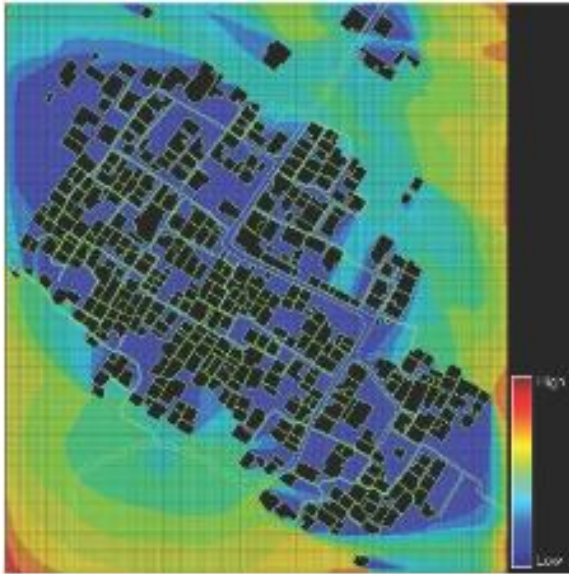
Selain menghasilkan 3D visual kawasan, data citra image drone juga menghasilkan orthophoto, yang digunakan sebagai dasar pembuatan vector map. Serupa dengan langkah sebelumnya pada peta kawasan sebelum terjadi gempa, Konversi kedalam bentuk vector map memungkinkan mendapatkan informasi spasial kawasan yang lebih terstruktur, dan mudah dilakukan identifikasi elemen-elemen kawasan seperti jalan, bangunan, dan ruang terbuka secara lebih jelas.



**Gambar 11 :** Vector Kampung Nagrog Paska Gempa  
Grafis Gambar 11, vector map di atas menggambarkan perubahan spasial blok bangunan di Kampung Nagrog setelah gempa. Blok bangunan dengan warna cyan menunjukkan bangunan yang mengalami perubahan luasan, baik berupa penyusutan maupun perluasan dibandingkan dengan kondisi sebelum gempa. Blok bangunan berwarna biru merepresentasikan bangunan yang baru dibangun pasca gempa, menandakan adanya aktivitas rekonstruksi di kawasan tersebut. Sementara itu, blok bangunan berwarna merah muda menunjukkan bangunan yang tidak mengalami perubahan luasan.

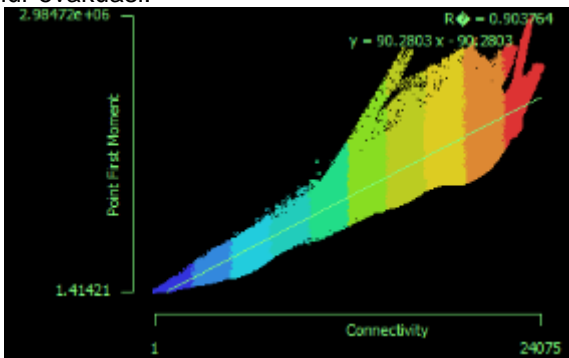
Gambar 12, menunjukkan tingkat visibilitas atau keterlihatan di Kampung Nagrog setelah gempa. Warna merah pada peta menunjukkan visibilitas yang tinggi pada area tersebut dari area lainnya. Warna oranye, kuning dan hijau menunjukkan gradasi tingkat visibilitas kawasan, sedangkan warna

biru menunjukkan area tersebut sulit terlihat dari area lainnya. Terlihat bahwa area dengan visibilitas tertinggi didominasi oleh bagian luar kawasan, khususnya pada area tepi kawasan dan jalan utama.



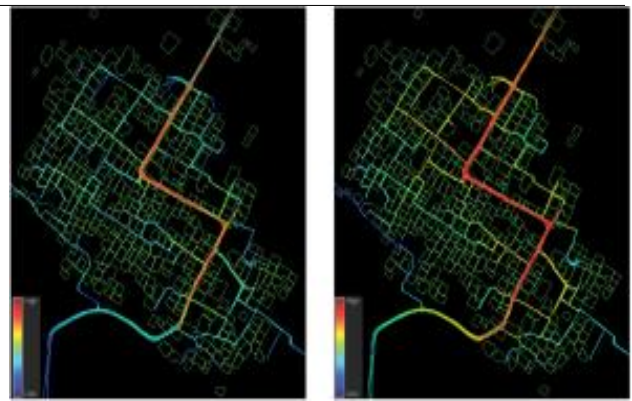
**Gambar 12:** Visibility Graph Analysis Kampung Nagrog Paska Gempa.

Sebaliknya, bagian dalam kawasan memiliki visibilitas yang relatif rendah, yang ditandai dengan dominasi warna biru. Hal ini menunjukkan bahwa jarak visual individu di dalam kawasan setelah gempa terbatas. Hal ini disebabkan oleh tata ruang yang padat dengan bangunan berdekatan dan jalan yang sempit. Pola visibilitas kawasan setelah memberikan gambaran bahwa area dalam kawasan tidak optimal dari segi orientasi ruang, yang dapat mempengaruhi aksesibilitas dan potensi efisiensi jalur evakuasi.



**Gambar 13:** Hubungan Connectivity dengan Point First Moment Kampung Nagrog Paska Gempa.

Koefisien Determinasi ( $R^2 = 0.903764$ ), Nilai  $R^2$  yang tinggi (0.90) menunjukkan bahwa hubungan antara konektivitas dan distribusi visual sangat kuat dan signifikan, dengan kata lain semakin tinggi konektivitas suatu titik, semakin besar pula jangkauan visualnya. Area dengan Konektivitas Rendah (Spektrum Biru-Hijau), cenderung mewakili ruang-ruang yang terisolasi secara fisik dan visual, seperti ruang-ruang di kawasan yang cenderung memiliki kepadatan bangunan yang lebih tinggi. Area dengan visibilitas rendah tidak ideal untuk mendukung aktivitas sosial atau evakuasi karena keterbatasan akses dan visibilitas.



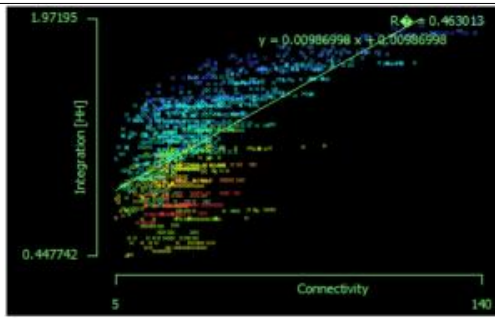
**Gambar 14.** (Kiri) Connectivity; (Kanan) Integration Sirkulasi Kawasan Paska Gempa

Hasil *Connectivity* memperlihatkan tingkat konektivitas setiap jalan atau segmen dalam jaringan ruang. Warna merah menunjukkan jalan dengan konektivitas tinggi, artinya segmen ini terhubung langsung ke banyak jalan lain. Sebaliknya, warna biru menunjukkan konektivitas rendah, di mana segmen jalan hanya memiliki sedikit hubungan langsung. Jalan-jalan dengan konektivitas tinggi biasanya menjadi jalur utama yang berfungsi sebagai penghubung antar kawasan.

Hasil *Integration* menunjukkan tingkat integrasi setiap segmen jalan dalam jaringan secara keseluruhan. Warna merah pada peta mengindikasikan segmen yang lebih terintegrasi, yang berarti segmen ini lebih mudah diakses dari seluruh jaringan. Jalan dengan nilai integrasi tinggi biasanya menjadi jalur yang paling strategis, sering digunakan oleh pejalan kaki atau kendaraan, dan berfungsi sebagai pusat aktivitas atau distribusi.

Kedua peta menunjukkan konsistensi identifikasi jalan utama dengan tingkat konektivitas dan integrasi yang tinggi, yaitu ditandai dengan warna merah pada peta kiri dan kanan. Hal ini menunjukkan bahwa jalur utama tetap memiliki peran penting dalam jaringan pasca gempa. Namun Peta hasil analisis integrasi (kanan) memberikan informasi bagaimana segmen jalan yang terhubung ke seluruh jaringan, bukan hanya hubungan langsung seperti dalam peta konektivitas. Terlihat beberapa jalan dengan konektivitas sedang (hijau pada peta kiri) memiliki integrasi tinggi (kuning hingga merah pada peta kanan) karena fungsinya sebagai penghubung penting dalam jaringan.

Grafik ini mengindikasikan bahwa konektivitas suatu segmen jalan berpengaruh terhadap tingkat integrasinya dalam jaringan ruang Kampung Nagrog. Namun, hubungan ini tidak sepenuhnya kuat nilai  $R^2 = 0.463013$ , menunjukkan bahwa ada faktor lain (seperti hambatan fisik atau kepadatan bangunan) yang memengaruhi integrasi ruang. Titik dengan konektivitas dan integrasi tinggi dapat diidentifikasi sebagai area strategis untuk pemulihan dan perencanaan ulang, seperti jalur evakuasi atau pusat distribusi bantuan. Sebaliknya, titik dengan konektivitas rendah memerlukan perhatian lebih untuk meningkatkan aksesibilitas dan mengurangi isolasi spasial.



Gambar 15. Diagram Scatter Integration dan Connectivity Kawasan paska gempa

### 3. Perbandingan Sebelum dan Sesudah Gempa

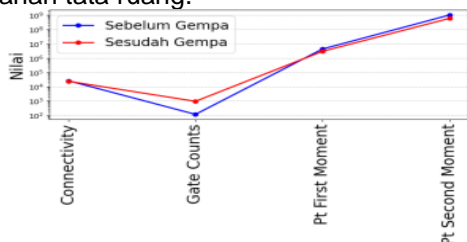
Memahami perubahan spasial yang terjadi di kawasan pasca gempa, dilakukan perbandingan hasil analisis jaringan ruang sebelum dan sesudah gempa menggunakan metode *Visibility Graph Analysis* (VGA) dan *Axial Analysis*. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan pada parameter-parameter kunci, seperti konektivitas, pola pergerakan, serta visibilitas ruang yang mencerminkan tingkat integrasi dan aksesibilitas dalam jaringan. Sehingga dapat teridentifikasi dampak langsung dari bencana terhadap struktur spasial kawasan Kampung Nagrog.

Tabel 1. Hasil Analisis VGA

Parameter Nilai	Map Sebelum Gempa	Map Sesudah Gempa
Connectivity	1 – 26256	1 – 24075
Gate Counts	-1 – 117	-1 – 956
Point First Moment	1.41421 –	1.41421 –
Moment	4.3364e+06	2.98472e+06
Point Second Moment	2 –	2 –
Moment	1.02997e+09	6.03082e+08

Nilai konektivitas sebelum gempa berkisar mulai dari 1 hingga 26.256 sedangkan sesudah Gempa menurun hingga maksimal 24.075. Penurunan nilai konektivitas menunjukkan bahwa beberapa jalur dalam jaringan ruang telah kehilangan koneksi, kemungkinan akibat kerusakan fisik atau hambatan kepadatan bangunan akibat bertambahnya bangunan baru pasca gempa.

Terdapat Peningkatan nilai maksimum *gate count* setelah gempa, yang menunjukkan lonjakan aktivitas atau penggunaan titik-titik tertentu sebagai jalur utama, hal ini dapat terjadi karena perubahan pola pergerakan masyarakat yang menyesuaikan dengan jaringan yang berubah. Selain itu juga terjadi penurunan nilai *Point First Moment* dari 4.3364e+06 menjadi 2.98472e+06, menunjukkan bahwa jangkauan visual dari titik-titik tertentu di kawasan menjadi lebih terbatas setelah gempa, hal ini dapat terjadi akibat obstruksi fisik atau perubahan tata ruang.



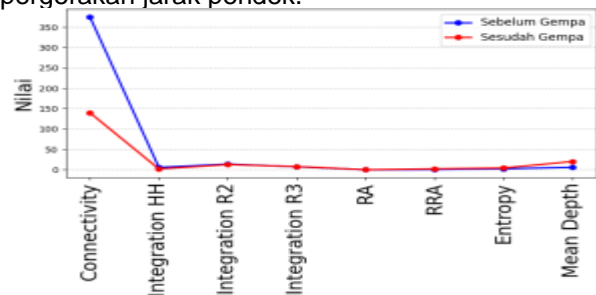
Gambar 16. Diagram Scatter Visibility Graph Analysis

Pada parameter *Point Second Moment* terjadi penurunan yang signifikan yang sebelumnya 1,02997e+09 menjadi 6,03082e+08, hal ini mengindikasikan bahwa penyebaran titik-titik yang terlihat dari suatu lokasi menjadi lebih sempit atau terkonsentrasi, yang mencerminkan penurunan fleksibilitas visibilitas dalam jaringan kawasan permukiman.

Tabel 2. Hasil Analisis Axial Analisis

Parameter Nilai	Map Sebelum Gempa	Map Sesudah Gempa
Connectivity	2 – 375	5 – 140
Integration HH	1.61313 – 5.77595	0.447742 – 1.97195
Integration [HH] R2	1.05598 – 13.8064	2.60132 – 12.6278
Integration [HH] R3	1.06971 – 7.28444	1.76699 – 7.83501
RA	0.00194361 – 0.00695927	0.00372028 – 0.0163849
RRA	0.173132 – 0.619914	0.507113 – 2.23343
Entropy	1.6401 – 2.27922	3.46709 – 4.23419
Mean Depth	2.36441 – 5.88541	5.37133 – 20.2522

Tabel 2 menunjukkan terdapat penurunan nilai *Connectivity* nilai sebelum gempa dengan rentang 2 – 375 sedangkan setelah gempa dengan rentang 5 – 140, hal ini menunjukkan bahwa beberapa segmen dalam jaringan ruang mengalami penurunan jumlah hubungan langsung dengan segmen lain, kemungkinan ini dapat terjadi akibat perubahan fisik kawasan pasca gempa. Serupa dengan *Connectivity*, nilai *Integration [HH]* mengalami penurunan sangat signifikan, sebelum gempa dengan nilai Rentang 1,61313–5,77595, sedangkan pasca gempa rentang 0,44742–1,97195. Penurunan nilai integrasi menunjukkan bahwa aksesibilitas global dalam sirkulasi kawasan menurun, sehingga ruang menjadi kurang terintegrasi secara keseluruhan. Nilai *Integration [HH] R2* mengalami penurunan dari 13.8064 menjadi 12.6278, yang mengindikasikan bahwa hubungan spasial antara segmen-segmen didalam kawasan menjadi lebih lemah pasca gempa, hal ini akan berdampak pada efisiensi jaringan sirkulasi. Terdapat peningkatan *Integration [HH] R3* (radius lokal) nilai analisis maksimum sebelum gempa 7.28444 dan setelah gempa meningkat menjadi 7.83501, yang menunjukkan bahwa, meskipun jaringan global terganggu, namun beberapa jalur lokal masih dapat berfungsi lebih efektif untuk pergerakan jarak pendek.



Gambar 17. Diagram Scatter Axial Analisis

Peningkatan nilai RA (*Relative Asymmetry*) yang sebelum gempa dengan rentang 0,019–0,006 sedangkan setelah gempa menjadi 0,016–0,033. menunjukkan bahwa jaringan menjadi lebih asimetris, mengindikasikan distribusi koneksi yang lebih tidak merata di seluruh jaringan ruang. Nilai RA yang lebih tinggi mengartikan bahwa dominasi lokasi menjadi lebih dalam atau kurang terhubung langsung ke jaringan ruang, dampaknya individu membutuhkan lebih banyak langkah (segmen) untuk mencapai keruang-ruang yang dituju (Pafka et al., 2020). Dalam konteks mitigasi bencana, peningkatan RA dapat menyebabkan aksesibilitas buruk dan waktu tempuh lebih lama, sehingga efisiensi jaringan sirkulasi menurun menyebabkan lambatnya proses evakuasi.

Serupa dengan RA, nilai RRA (*Relative Radius Asymmetry*) mengalami peningkatan signifikan, nilai RRA mengacu pada perbedaan dalam jarak atau radius antara titik-titik dalam suatu jaringan ruang (Eckert & Vaden, 2019), yang menunjukkan bahwa kedalaman atau jarak rata-rata antara segmen menjadi lebih besar, hal ini menandakan aksesibilitas di jaringan sirkulasi secara keseluruhan menurun. Peningkatan nilai RRA menyebabkan aksesibilitas berkurang dan mobilitas menjadi tidak efisien.

Dalam konteks evaluasi perubahan kawasan permukiman paska gempa nilai *Entropy* memiliki peranan penting. Nilai *entropy* dalam *Space Syntax* bertujuan mengukur tingkat keragaman atau ketidakpastian dalam distribusi konektivitas suatu jaringan ruang (Leão et al., 2020). Dalam konteks jaringan transportasi atau sirkulasi sebagai jalur evakuasi, nilai *entropy* tinggi menyebabkan kebingungan dan mengurangi efisiensi sirkulasi karena rute tidak seragam atau tidak konsisten. Nilai *entropy* hasil analisis kawasan kampung Nagrog terjadi peningkatan setelah gempa, dengan nilai *entropy* sebelum gempa berada direntang 1.6401 – 2.27922 dan setelah gempa meningkat signifikan menjadi 3.46709 – 4.23419.

Nilai *Mean Depth* bertujuan untuk mengukur rata-rata jumlah langkah atau tingkat kedalaman yang diperlukan untuk mencapai semua ruang lain dari satu titik tertentu dalam jaringan ruang (Alfathani & Nurdini, 2022). Hasil analisis diketahui nilai *Mean Depth* pada Kampung Nagrog sebelum gempa direntang 2.36441 – 5.88541 dan setelah gempa meningkat signifikan direntang 5.37133 – 20.2522. Terjadi peningkatan nilai *Mean Depth*, yang berarti keterjangkauan ruang berada jauh atau lebih dalam dari sebelum gempa terjadi didalam jaringan ruang kawasan, diperlukan lebih banyak langkah untuk mencapai ruang lain atau dengan kata lain jaringan lebih terfragmentasi atau tidak langsung terhubung. Dalam konteks mitigasi bencana gempa jaringan transportasi atau ruang publik, nilai *Mean Depth* yang tinggi menyebabkan efisiensi akses ruang menurun, waktu tempuh lebih lama, dan mobilitas terganggu. Idealnya nilai *Mean Depth* menurun dari sebelumnya karena mendukung akses cepat (Esposito et al., 2020) ke fasilitas penting seperti

jalur evakuasi, pusat bantuan, dan lokasi strategis lainnya.

## KESIMPULAN

Gempa telah memberikan dampak signifikan pada struktur jaringan ruang di Kampung Nagrog. Penurunan nilai maksimum pada parameter *Connectivity*, *Point First Moment*, dan *Point Second Moment* mencerminkan bahwa jaringan ruang menjadi lebih terfragmentasi dan visibilitas ruang menjadi lebih terbatas. Namun, peningkatan pada *Gate Counts* menunjukkan bahwa beberapa jalur menjadi lebih sering digunakan, mungkin sebagai jalur alternatif atau rute utama pasca gempa. Dampak signifikan lainnya pada jaringan ruang kawasan, menyebabkan penurunan aksesibilitas, integrasi, dan konektivitas global. Beberapa jalur lokal mungkin masih berfungsi untuk pergerakan jarak pendek, tetapi jaringan secara keseluruhan menjadi lebih kompleks, dalam, dan tidak teratur. Diperlukan penataan ulang kawasan yang terfokus pada area dengan konektivitas rendah untuk meningkatkan aksesibilitas. Meningkatkan visibilitas dan distribusi titik-titik dalam jaringan untuk mendukung pemulihan kawasan. Area dengan *Gate Counts* tinggi dapat diidentifikasi sebagai jalur prioritas untuk evakuasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Penelitian PDP DRPTM DIKTI Tahun Anggaran 2024. Kami mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Kebangsaan Republik Indonesia dan LLDIKTI Wilayah IV atas dukungan yang telah diberikan. Penghargaan juga kami sampaikan kepada warga Desa Gasol, Kecamatan Cugenang, atas partisipasi aktif dan bantuan yang sangat berharga selama proses penelitian berlangsung. Dukungan dan kerja sama dari semua pihak tersebut sangatlah penting untuk kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhiutama, A., Darmawan, R., Nuraeni, S., Pambudi, N. F., & Mulyono, N. B. (2021). Relevance of disaster awareness factors and evacuation experiment without emergency alarm: Fire case study. *International Journal of Emergency Services*, 10(2), 177–193. <https://doi.org/10.1108/IJES-07-2019-0032>
- Alfathani, F., & Nurdini, A. (2022). Space Syntax Analysis on Sundanese Traditional Villages (Case Studies: Kampung Naga, Kampung Ciptagelar, and Kampung Dukuh). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1058(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1058/1/012024>
- AlNaim, M. M. (2021). Dwelling form and culture in the traditional Najdi built environment, Saudi Arabia. *Open House International*, 46(4), 595–614. <https://doi.org/10.1108/OHI-01-2021-0015>
- Amalia, U. N., Gultom, B. J. B., & Affrilyno, A. (2022). KONFIGURASI RUANG KAWASAN PASAR HONGKONG DENGAN METODE SPACE SYNTAX. *JMARS: Jurnal Mosaik Arsitektur*,

- 10(2), 422.  
<https://doi.org/10.26418/jmars.v10i2.57037>
- Andi, A., Abednego, I. A., & Gultom, B. J. Br. (2021). Space Syntax Guide to Optimize Shopping Mall: A Systematic Review. *International Journal of Environment, Architecture, and Societies*, 1(01), 19–30.  
<https://doi.org/10.26418/ijeas.2021.1.01.19-30>
- Andi Andre Pratama Putra, Djubir R. E. Kembuan, Desty Rara Retna Kalude, & Heinca Andre Maahury. (2023). Measuring the Spatial Configuration of the Center Point of Indonesia Using Space Syntax. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, 17, 348–354.  
<https://doi.org/10.47577/technium.v17i1.10099>
- Bendjedidi, S., Bada, Y., & Meziani, R. (2019). Urban plaza design process using space syntax analysis: El-Houria plaza, Biskra, Algeria. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 7(2), 125–142.  
[https://doi.org/10.14246/irspsda.7.2\\_125](https://doi.org/10.14246/irspsda.7.2_125)
- Cardinal, J., & Hoffmann, U. (2017). Recognition and Complexity of Point Visibility Graphs. *Discrete & Computational Geometry*, 57(1), 164–178.  
<https://doi.org/10.1007/s00454-016-9831-1>
- Chen, C., Buylova, A., Chand, C., Wang, H., Cramer, L. A., & Cox, D. T. (2020). Households' Intended Evacuation Transportation Behavior in Response to Earthquake and Tsunami Hazard in a Cascadia Subduction Zone City. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2674(7), 99–114.  
<https://doi.org/10.1177/0361198120920873>
- Djenaihi, W.-M., Zemmouri, N., Djenane, M., & Van Nes, A. (2021). Noise and Spatial Configuration in Biskra, Algeria—A Space Syntax Approach to Understand the Built Environment for Visually Impaired People. *Sustainability*, 13(19), 11009.  
<https://doi.org/10.3390/su131911009>
- Dong, K., Che, H., & Zou, Z. (2019). Multiscale Horizontal Visibility Graph Analysis of Higher-Order Moments for Estimating Statistical Dependency. *Entropy*, 21(10), 1008.  
<https://doi.org/10.3390/e21101008>
- Eckert, M. A., & Vaden, K. I. (2019). A deformation-based approach for characterizing brain asymmetries at different spatial scales of resolution. *Journal of Neuroscience Methods*, 322, 1–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2019.04.007>
- Esposito, D., Santoro, S., & Camarda, D. (2020). Agent-Based Analysis of Urban Spaces Using Space Syntax and Spatial Cognition Approaches: A Case Study in Bari, Italy. *Sustainability*, 12(11), 4625.  
<https://doi.org/10.3390/su12114625>
- Hlal, M., Azmi, R., Chenal, J., Diop, E. B., Adraoui, M., Abdem, S. A. E., Serbouti, I., & Bounabi, M. (2024). Earthquake risks assessment and urban vulnerability: Case of Nador city, northeast Morocco. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(14), 9381.  
<https://doi.org/10.24294/jipd9381>
- Jamal-ud-din, Ainuddin, S., Murtaza, G., Faiz, S., Muhammad, A. S., Raheem, A., & Khan, S. (2023). Earthquake vulnerability assessment through spatial multi-criteria analysis: A case study of Quetta city, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 82(11), 262.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-023-10967-3>
- Jumaylinda Gultom, B., Andi, Zaneta, J., & Javiera, E. (2022). Flood risk of today and tomorrow: Spatial analysis of flood vulnerability in Pontianak City. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 10(3), 170–187.  
[https://doi.org/10.14246/irspsd.10.3\\_170](https://doi.org/10.14246/irspsd.10.3_170)
- Karimi, K. (2023). The Configurational Structures of Social Spaces: Space Syntax and Urban Morphology in the Context of Analytical, Evidence-Based Design. *Land*, 12(11), 2084.  
<https://doi.org/10.3390/land12112084>
- Khairanisa, F. (2022). Function, Role, Limitation, and Potential of Space Syntax Analysis in Architectural Field. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 1(2), 23–31.  
<https://doi.org/10.24002/jarina.v1i2.6093>
- Leão, A. L. F., Abonizio, H. Q., Reis, R. S., & Kanashiro, M. (2020). Walkability variables: An empirical study in Rolândia - PR, Brazil. *Ambiente Construído*, 20(2), 475–488.  
<https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000200410>
- Leite, P. W. D. L., Almeida Silva, C. C. O. D., Dal Moro, L., Bodah, B. W., Mores, G. D. V., Piccinato Junior, D., Engel, A., Santosh, M., & Neckel, A. (2024). Space Syntax at Expression of Science on User Flows in Open and Closed Spaces Aimed at Achieving the Sustainable Development Goal: A Review. *Architecture*, 4(1), 170–187.  
<https://doi.org/10.3390/architecture4010011>
- Liu, J., Wu, D., Hidetosi, F., & Gao, W. (2015). Investigation and Analysis of Urban Spatial Structure around the Train Stations in Kitakyushu by Using Space Syntax and GIS. *Open Journal of Civil Engineering*, 05(01), 97–108.  
<https://doi.org/10.4236/ojce.2015.51010>
- Mahmoud, A., Khalil, H., Sobhy, T., & Farouk, H. (2023). Space Syntax as a Vital Tool to Enhance Urban Spaces. *ERU Research Journal*, 2(3), 399–414.  
<https://doi.org/10.21608/erurj.2023.211330.1025>
- Pafka, E., Dovey, K., & Aschwanden, G. D. (2020). Limits of space syntax for urban design: Axiality, scale and sinuosity. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(3), 508–522.  
<https://doi.org/10.1177/2399808318786512>
- Penchev, G. (2017). Using Space Syntax For Estimation Of Potential Disaster Indirect Economic Losses. *Comparative Economic Research. Central and Eastern Europe*, 19(5), 125–142.  
<https://doi.org/10.1515/cer-2016-0041>
- Putra, W. B., Faisal, G., Dewi, N. I. K., & Firzal, Y. (2023). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry for Heritage Building Documentation: Case Study Sasaksaat Train Station, Bandung, Indonesia. *International Journal of Environment, Architecture, and Societies*, 3(02), 72–86.  
<https://doi.org/10.26418/ijeas.2023.3.02.72-86>
- Trivedi, A., & Singh, A. (2017). Prioritizing emergency shelter areas using hybrid multi-criteria decision approach: A case study. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 24(3–4), 133–145.  
<https://doi.org/10.1002/mcda.1611>
- Tsai, M.-T., & Chang, H.-W. (2023). Contribution of Accessibility to Urban Resilience and Evacuation Planning Using Spatial Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4), 2913.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph20042913>
- Wang, S. M., & Huang, C.-J. (2019). Using Space Syntax and Information Visualization for Spatial

Behavior Analysis and Simulation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(4).  
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100463>

Xu, H., & Wang, S. (2019). Urban redevelopment and residential location choice: Evidence from a major earthquake in Japan. *Journal of Regional Science*, 59(5), 850–882.  
<https://doi.org/10.1111/jors.12424>

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.  
<https://doi.org/10.3390/su13063394>