



PEMODELAN STRUKTUR DAN AKTIVITAS PERKOTAAN MELALUI PENDEKATAN CLOCKBOARD ZONING: STUDI KASUS KAWASAN CEKUNGAN BANDUNG

Aulia Rachma*, Linda Wardani, Fadjar Iman Nugroho

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kec. Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

Naskah masuk 30 Januari 2026; Naskah direvisi 21 April 2026; Naskah diterima 3 Juni 2026

Key Words

Clockboard Zoning
Nighttime Lights
Normalized Difference Built-up Index (NDBI)
Urban Morphology

Abstract

The rapid development of metropolitan areas is often marked by an imbalance between the expansion of built-up areas and the intensity of urban activities, resulting in a partial understanding of urban structure and function when analyzed from a single dimension. This condition is evident in the Cekungan Bandung, which experiences intense urbanization pressure and uneven spatial dynamics. This study analyzes the physical structure and urban activities of the Bandung Basin using an integrated spatial modeling approach. The approach used in this study is quantitative spatial analysis with a descriptive-explanatory design. Physical structure was derived from the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) using Sentinel-2 imagery, while urban activity was represented by Nighttime Lights (NTL) data from VIIRS Black Marble. Both indicators were standardized and analyzed using clockboard zoning. The results indicate that the maximum NDBI value reaches 0.552 and is concentrated in the metropolitan core, while the basin-scale average NDBI remains negative, reflecting the dominance of non-built-up areas. The highest NTL intensity was observed in Bandung City, with an average of 29.56 nV/cm²·sr and a density of 117.67/km², followed by a sharp decline toward peripheral areas. Bivariate NDBI-NTL classification across 45 clockboard zones is dominated by Transition and Dominant Developing Sectors, while the Core Sector accounts for only 26.67% of zones, indicating a polycentric, asymmetric, corridor-based metropolitan growth pattern.

Kata Kunci

Clockboard Zoning
Morfologi Perkotaan
Nighttime Lights
Normalized Difference Built-up Index (NDBI)

Abstrak

Pesatnya perkembangan kawasan metropolitan sering ditandai oleh ketidakseimbangan antara ekspansi fisik kawasan terbangun dan intensitas aktivitas perkotaan, sehingga pemahaman struktur dan fungsi kota menjadi parsial jika hanya ditinjau dari satu dimensi. Fenomena ini relevan dengan Cekungan Bandung yang mengalami tekanan urbanisasi intensif serta dinamika spasial yang tidak merata. Penelitian ini menganalisis struktur fisik dan aktivitas perkotaan di Cekungan Bandung melalui pendekatan pemodelan spasial terintegrasi. Pendekatan analisis spasial kuantitatif dengan desain deskriptif-eksplanatif. Struktur fisik dianalisis menggunakan Normalized Difference Built-up Index berbasis citra Sentinel-2, sementara aktivitas perkotaan direpresentasikan oleh data Nighttime Lights dari VIIRS Black Marble. Kedua indikator tersebut distandarisasi dan dianalisis melalui metode clockboard zoning. Hasil menunjukkan nilai maksimum NDBI mencapai 0,552 yang terkonsentrasi di kawasan inti metropolitan, sedangkan nilai rata-rata NDBI bersifat negatif, mengindikasikan dominasi area non-terbangun pada tingkat skala cekungan. Intensitas NTL tertinggi tercatat di Kota Bandung dengan nilai rata-rata 29,56 nV/cm²·sr dan kepadatan 117,67/km², sementara wilayah perifer menunjukkan penurunan intensitas yang lebih tajam. Klasifikasi bivariat NDBI-NTL pada 45 zona clockboard mendominasi oleh Sektor Transisi dan Sektor Dominan Berkembang, dengan Sektor Inti hanya mencakup 26,67% zona, mencerminkan pola pertumbuhan metropolitan Cekungan Bandung yang bersifat polisentris asimetris berbasis koridor.

PENDAHULUAN

Dalam lima tahun terakhir, urbanisasi di Indonesia menunjukkan pola konsentrasi yang semakin kuat pada wilayah metropolitan. Kawasan perkotaan menyumbang lebih dari 56% populasi nasional pada Tahun 2023, dan diproyeksikan terus meningkat seiring dengan tingginya tingkat urbanisasi serta migrasi penduduk ke wilayah metropolitan (Mukhoriyah *et al.*, 2021). Pesatnya pertumbuhan ekonomi dan peningkatan populasi di wilayah ini menyebabkan perubahan guna lahan yang

masif, terutama konversi lahan non-terbangun menjadi lahan terbangun, sehingga menimbulkan kekhawatiran akan keberlanjutan tata ruang kota (Mukhoriyah *et al.*, 2021; Solihin & Kurniyanto, 2021).

Fenomena tekanan urbanisasi juga tercermin di Cekungan Bandung sebagai kawasan metropolitan di Jawa Barat. Tekanan ini ditandai dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi serta peningkatan kebutuhan

* corresponding author: ar.auliarachmaa@gmail.com

lahan untuk berbagai aktivitas perkotaan (Mukhoriyah *et al.*, 2021). Jika dilihat dari kepadatan penduduk, Jawa Barat memiliki kepadatan penduduk sebesar 1.370,38 jiwa per kilometer persegi, dimana Cekungan Bandung memiliki kepadatan penduduk sebesar 2.664,08 jiwa per kilometer persegi dan wilayah terpadat berada di Kota Bandung, yaitu 15.299,74 jiwa per kilometer persegi (BPS, 2025). Peningkatan kepadatan penduduk dapat menyebabkan kelangkaan lahan yang mendorong ekspansi fisik kota ke arah pinggiran kota yang sering kali tidak terkendali, sehingga fenomena *urban sprawl* dan konversi lahan pertanian menjadi permukiman terus meningkat (Mukhoriyah *et al.*, 2021).

Identifikasi morfologi kota dapat melihat fenomena *urban sprawl* di suatu wilayah. *Urban morphology* memahami kota sebagai struktur spasial yang tercipta dari interaksi berkelanjutan antara bangunan, infrastruktur jaringan, dan fungsi kota yang mengalami diferensiasi bersamaan dengan ekspansi skala metropolitan, seperti pola *multiple nuclei* di Kota Bandung (Mukhoriyah *et al.*, 2021). Dalam konteks metropolitan kontemporer, teori morfologi menekankan bahwa kota tidak lagi berkembang secara seragam atau konsentris, melainkan membentuk konfigurasi polisentris dengan arah pertumbuhan yang tidak simetris (Sakti *et al.*, 2024). Data multispektral resolusi menengah dari *Sentinel-2* yang dianalisis dengan *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI) dapat mengukur intensitas kawasan terbangun secara konsisten lintas wilayah dan waktu (Solihin & Kurniyanto, 2021; Somantri, 2022). NDBI telah digunakan secara luas untuk memetakan kepadatan fisik kota, ekspansi lahan terbangun, dan fragmentasi morfologi perkotaan, termasuk di wilayah Asia Tenggara yang berkembang pesat seperti Cekungan Bandung (Solihin & Kurniyanto, 2021). Namun, literatur terbaru juga menegaskan keterbatasan NDBI (Sakti *et al.*, 2024). Indeks kawasan terbangun hanya merepresentasikan bentuk fisik, bukan fungsi atau aktivitas yang berlangsung di dalamnya. Kawasan dengan kepadatan bangunan tinggi dapat menunjukkan tingkat aktivitas rendah, sementara wilayah dengan struktur fisik sedang justru menjadi pusat aktivitas ekonomi dan sosial. Keterbatasan ini semakin relevan di wilayah metropolitan berkembang, seperti Cekungan Bandung, di mana fungsi kota sering kali mendahului atau justru tertinggal dari perkembangan fisiknya (Mukhoriyah *et al.*, 2021).

Di sisi lain, data *Nighttime Lights* (NTL) dari NASA melalui sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS), khususnya produk VIIRS *Black Marble*, telah berkembang menjadi proksi untuk mengukur intensitas aktivitas manusia, konsumsi energi, dan dinamika ekonomi perkotaan (Afrianto *et al.*, 2025; Ulimaz *et al.*, 2025). NTL berkorelasi kuat dengan aktivitas ekonomi lokal, mobilitas malam hari, dan pusat-pusat kegiatan perkotaan yang sering luput dari pengamatan berbasis data fisik. Namun, kajian perkotaan di Indonesia dan negara berkembang umumnya masih memperlakukan analisis morfologi dan analisis NTL sebagai dua *domain*

terpisah (Murtadho *et al.*, 2022; Somantri, 2022). Hingga saat ini, belum terdapat penelitian yang secara eksplisit mengintegrasikan aktivitas dan fisik dalam satu kerangka analisis zonal berbasis *clockboard* di Kawasan Cekungan Bandung. Melalui integrasi kedua indikator tersebut dalam kerangka *clockboard zoning*, penelitian ini bertujuan menyediakan basis empiris untuk mengidentifikasi arah pertumbuhan, ketidakseimbangan fungsi ruang, dan kawasan prioritas intervensi, sehingga pembangunan metropolitan Cekungan Bandung dapat bergeser dari pendekatan reaktif menuju pengelolaan yang proaktif dan selaras dengan dinamika kota yang aktual.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis spasial kuantitatif dengan desain deskriptif-eksplanatif. Pendekatan kuantitatif digunakan sebagai alat utama untuk mengolah dan menganalisis data spasial berbasis *remote sensing*, sementara pendekatan deskriptif-eksplanatif digunakan pada tahap interpretasi untuk membaca pola-pola spasial yang terbentuk. Penelitian ini berupaya memahami dinamika struktur dan aktivitas perkotaan dalam kerangka teori morfologi kota, khususnya berdasarkan pola spasial yang teridentifikasi di wilayah Cekungan Bandung. Analisis menggunakan data Tahun 2025 dan dibatasi pada wilayah Cekungan Bandung. Penelitian ini menggunakan NDBI dan statistik NTL sebagai pendekatan kuantifikasi struktur fisik dan aktivitas malam, yang selanjutnya dianalisis dalam kerangka zonal berbasis *clockboard zoning*.

1. *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI)

Analisis struktur fisik perkotaan menggunakan NDBI sebagai indikator kuantitatif kepadatan kawasan terbangun (Solihin and Kurniyanto, 2021; Somantri, 2023). NDBI memanfaatkan perbedaan reflektansi spektral, di mana permukaan terbangun mencerminkan *Shortwave Infrared* (SWIR) lebih tinggi daripada *Near Infrared* (NIR) (Adrian *et al.*, 2023; Sunarta & Saifulloh, 2022). Pendekatan ini efektif merepresentasikan intensitas morfologi dan distribusi fisik kota metropolitan (Permatasari and Prasetyo, 2022). Data utama adalah citra Sentinel-2 Level-2A Tahun 2025 (resolusi spasial 10 meter), dipilih karena kemampuan deteksi spektral *built-up* yang memadai (Somantri, 2023). NDBI dihitung dari *Band 11* dan *Band 8*, dengan rumus dan klasifikasi pada Tabel 1 di bawah ini:

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR} \dots (1)$$

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDBI

Kelas	Rentang NDBI	Keterangan
1	-1 - 0	Non Bangunan
2	0 - 0,1	Kerapatan Bangunan Rendah
3	0,1 - 0,2	Kerapatan Bangunan Sedang
4	0,2 - 0,3	Kerapatan Bangunan Tinggi

Sumber: Jurnal Geodesi (2017)

Nilai NDBI tinggi menunjukkan dominasi permukaan terbangun, sedangkan nilai rendah hingga negatif merepresentasikan area non-bangunan seperti vegetasi dan badan air.

2. Night Time Light (NTL)

Data NTL diperoleh dari produk VIIRS Day/Night Band (DNB) *Black Marble* VNP46A2 yang dikembangkan oleh NASA. Produk ini menyediakan nilai *radianse* cahaya malam yang telah melalui koreksi sudut pandang (*BRDF correction*) serta pengisian celah data (*gap-filling*) sesuai prosedur standar pada dataset (Prasetyo *et al.*, 2025). Pengolahan data NTL dilakukan secara bertahap, diawali dengan penerapan *quality assurance mask* untuk mengeliminasi observasi berkualitas rendah, kemudian dilakukan agregasi temporal untuk memperoleh nilai representatif tahunan. Citra harian yang lolos seleksi dikompilasi menjadi komposit tahunan menggunakan median (P50) agar lebih stabil terhadap nilai ekstrem dan variasi residual. Raster komposit selanjutnya dipotong pada batas area studi dan diproyeksikan ke *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 48S pada resolusi 500 meter. Data NTL digunakan dalam penelitian ini sebagai proksi spasial aktivitas manusia pada malam hari, dengan asumsi terbatas bahwa intensitas cahaya buatan merefleksikan keberadaan dan konsentrasi aktivitas perkotaan. Penggunaan NTL tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan aktivitas sosial atau ekonomi secara langsung, melainkan untuk memberikan indikasi relatif distribusi aktivitas malam dalam suatu wilayah analisis. Pendekatan ini telah digunakan secara luas dalam kajian wilayah dan perkotaan untuk membaca pola spasial aktivitas berbasis cahaya malam (Levin *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2022).

Analisis NTL dilakukan menggunakan pendekatan *zonal statistics*, yaitu peringkasan nilai radiansi piksel raster berdasarkan zona spasial yang telah ditetapkan (Njambi, 2022). Dalam penelitian ini, nilai NTL pada setiap piksel yang berada di dalam satu zona diagregasikan menjadi statistik ringkas yang merepresentasikan karakteristik intensitas cahaya malam pada zona tersebut (Putro *et al.*, 2025). Proses pengolahan diawali dengan reduksi informasi *raster* menjadi nilai numerik melalui agregasi piksel di dalam batas zona analisis, sehingga variasi intensitas cahaya pada tingkat piksel dapat dirangkum ke dalam ukuran statistik yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Statistik yang dihitung meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, simpangan baku, serta total intensitas cahaya (*sum*), yang masing-masing digunakan untuk menggambarkan karakteristik distribusi cahaya malam dalam zona tersebut. Selain itu, untuk mengurangi pengaruh perbedaan luas wilayah antar zona, nilai total intensitas cahaya selanjutnya dinormalisasi terhadap luas zona sehingga diperoleh indikator densitas fungsional aktivitas malam (NTL/km²). Indikator ini berbeda secara konseptual dari nilai rata-rata (*mean radiance*), di mana *mean radiance* merepresentasikan intensitas cahaya per piksel pada skala resolusi sensor, sedangkan NTL/km² merepresentasikan akumulasi aktivitas malam per satuan ruang administratif. Hal ini menunjukkan perbedaan yang relevan secara analitik ketika unit spasial yang dibandingkan memiliki luas yang berbeda secara substansial, sebagaimana diidentifikasi oleh Gibson *et al.*

(2021) dalam konteks analisis NTL sub-nasional di Indonesia. Pendekatan zonal ini memungkinkan perbandingan antar wilayah secara konsisten karena seluruh perhitungan dilakukan pada satuan spasial yang sama (Njambi, 2022).

3. Pearson dan Spearman

Untuk membuktikan keterkaitan antara struktur fisik terbangun (NDBI) dan intensitas aktivitas malam (NTL) secara kuantitatif, dilakukan uji korelasi statistik menggunakan metode *Pearson* dan *Spearman*. Pengujian dilakukan pada data titik hasil konversi raster kedua variabel yang telah disamakan resolusinya pada 500 meter dan digabungkan melalui *spatial join* di kawasan Cekungan Bandung Tahun 2025. Uji korelasi *Pearson* digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linear antara dua variabel kontinu, dengan rumus:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) (\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}} \dots (2)$$

dengan x_i adalah nilai NDBI pada titik ke- i , y_i adalah nilai NTL pada titik ke- i , $\bar{x}$ dan $\bar{y}$ masing-masing adalah nilai rata-rata NDBI dan NTL, serta n adalah jumlah titik pengamatan. Uji korelasi *Spearman* digunakan sebagai konfirmasi non-parametrik yang tidak mensyaratkan distribusi normal data, dengan rumus:

$$R_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)} \dots (3)$$

dengan d_i adalah selisih peringkat antara nilai NDBI dan NTL pada titik ke- i , dan n adalah jumlah titik pengamatan. Koefisien determinasi R^2 dihitung sebagai kuadrat dari nilai koefisien *Pearson* ($R^2 = r^2$), yang menunjukkan proporsi variasi NTL yang dapat dijelaskan oleh variasi NDBI. Signifikansi statistik dievaluasi berdasarkan nilai IR dengan ambang batas $\alpha = 0,05$.

4. Clockboard Zoning

Sebelum dilakukan analisis zonasi, diperkenalkan konsep dasar *clockboard zoning* sebagai pendekatan pembagian ruang berbasis kombinasi jarak dan arah terhadap pusat kota. *Clockboard zone* adalah suatu metode analisa daerah perkotaan yang membagi daerah perkotaan tersebut ke dalam zona-zona dengan melihat sebuah perkotaan bagaikan sebuah jam atau papan panah (Lovelace *et al.*, 2021). Pendekatan ini mengadopsi prinsip zonasi konsentris dan sektoral, dimana wilayah dibagi ke dalam beberapa ring (berdasarkan radius dari pusat) dan sektor (berdasarkan pembagian sudut). Dalam penelitian ini, titik pusat ditentukan pada kawasan inti metropolitan (alun-alun Kota Bandung), sementara jumlah ring dan sektor dibagi menjadi 12 bagian untuk merepresentasikan variasi spasial secara proporsional terhadap luas wilayah studi. Pendekatan ini dipilih karena mampu mengintegrasikan dimensi radial (jarak dari pusat kota) dan sektoral (arah perkembangan) dalam satu kerangka analisis spasial. Secara konsep, pendekatan ini berakar dari teori morfologi berbasis konsentris yang diperkaya dengan pembagian arah perkembangan, seperti yang

pernah dilakukan penelitian oleh Firman *et al* pada Tahun 2021. Dalam studinya menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif digunakan untuk mengidentifikasi morfologi kota berbasis data *Nighttime Lights*, seperti pada kasus Kota Malang yang menunjukkan pola radial konsentris dengan perkembangan yang tidak merata antar sektor.

Keunggulan utama pada alat analisis ini adalah terletak pada kemampuannya dalam mengungkap heterogenitas spasial secara lebih komprehensif dibandingkan zonasi satu dimesnsi, khususnya dalam membaca hubungan tingkat keterbangunan dan intensitas aktivitas perkotaan pada skala intra-metropolitan. Namun, keterbatasan, terutama dalam asumsi struktur kota yang cenderung berbasis pusat dan pola geometris, sehingga kurang sepenuhnya merepresentasikan dinamika metropolitan modern yang bersifat polisentris dan kompleks. Nilai rata-rata dari NDBI dan NTL yang dihasilkan memiliki rentang dan satuan yang berbeda, sehingga kedua variabel ini masih perlu dinormalisasi agar dapat disandingkan secara langsung. Pendekatan yang digunakan adalah standarisasi Z-score, yaitu proses penetapan nilai relatif terhadap rata-rata dan varians keseluruhan (Andrade, 2021). Dalam konteks NTL, data mentah umumnya masih menunjukkan distribusi *right-skewed* karena dominasi nilai tinggi di pusat kota menyebabkan *logarithmic transformation* perlu dilakukan. Hal ini bertujuan untuk mereduksi pengaruh outlier dalam data dan membuat distribusi lebih simetris (Yu *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2020). Transformasi kemudian menghasilkan nilai Z yang mencerminkan deviasi relatif setiap zona terhadap rata-rata keseluruhan wilayah studi, sehingga interpretasi intensitas aktivitas dan built-up menjadi proporsional, serta dapat dibandingkan secara objektif. Berikut merupakan rumus $Z=score$ yang digunakan dalam penelitian ini:

$$z_i = \frac{(x_i - \mu)}{\sigma} \dots (4)$$

dengan:

x_i : nilai rata-rata variabel pada zona ke- i ;

μ : rata-rata seluruh zona;

σ : standar deviasai seluruh zona.

Selanjutnya, analisis menggunakan *zoning* pada *tools* di QGIS 3.20 dengan membagi wilayah studi ke dalam lingkaran konsentris dan sektor angular dengan titik pusat yang ditetapkan pada pusat historis dan fungsional Kota Bandung. Teknik ini memungkinkan pengukuran distribusi spasial yang lebih informatif dibandingkan *bugger* konvensional pada umumnya. Fenomena *radial decay* juga dapat ditangkap secara kuantitatif berdasarkan arah tertentu.

Hasil zonasi yang terbentuk kemudian dihitung nilai rata-rata keduanya menggunakan *zonal statistic*, dalam hal ini menggunakan statistik deskriptif mean untuk mengatasi biar akbat perbedaan luas zona dan menjaga validitas data. Nilai zona yang telah terstandarisasi kemudian dimasukkan ke dalam tipologi bivariate. Tujuannya adalah untuk melihat kombinasi tingkatan intensitas fisik dan aktivitas membentuk tipe ruang seperti yang diutarakan oleh Peter Mann Tahun 1965 mengenai teori konsektoral. Dalam teori ini dijelaskan bahwa teori konsektoral mencoba menggabungkan teori konsentris dan sektoral, seperti Sektor Inti/Pusat Kota (pada bagian pusat kota), Sektor Dominan Berkembang, Sektor Transisi, Sektor Perifer Berkembang, dan Sektor Non-Urban, seperti pada Tabel 2 berikut.

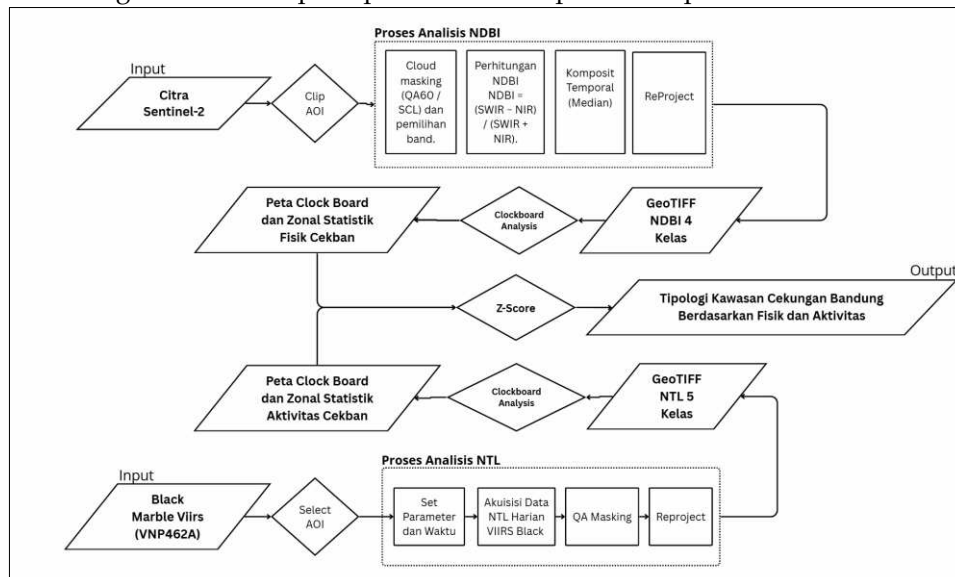
Tabel 2. Skor Tipologi

No	Tipologi	Skor Total (NDBI + NTL)
1	Sektor Inti/Pusat Kota	9-10
2	Sektor Dominan Berkembang	7-8
3	Sektor Transisi	5-6
4	Sektor Perifer Berkembang	3-4
5	Non-Urban	1-2

Sumber: Penyusun, 2026

:

Adapun alur kerja metodologi keseluruhan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



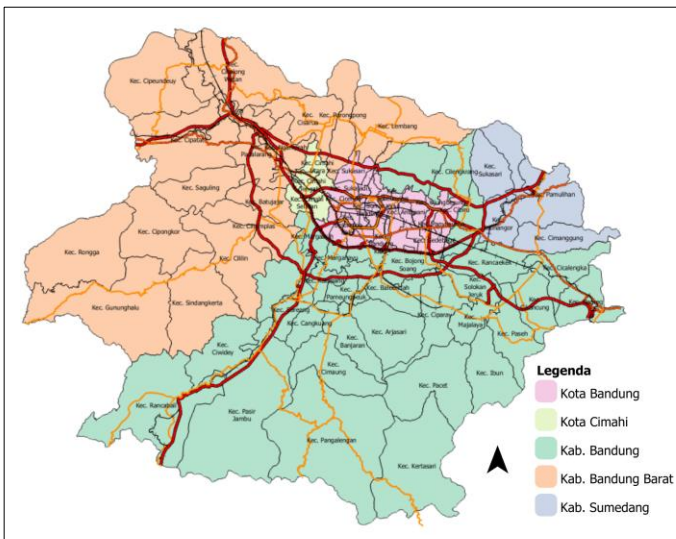
Gambar 1. Alur Kerja Metodologi

Sumber: Penyusun, 2026

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan Cekungan Bandung merupakan kawasan metropolitan strategis nasional di Jawa Barat yang meliputi Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, dan sebagian Kabupaten Sumedang. Kota Bandung dan Kota Cimahi menjadi kawasan inti dari kawasan Cekungan Bandung. Kawasan ini masih termasuk dalam Kawasan Strategis Nasional (KSN) berdasarkan Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 45 Tahun 2018 tentang Rencana Tata Ruang (RTR) Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung. Dalam pengelolaannya, kawasan ini dilakukan secara terpadu antara pemerintah pusat, provinsi, dan kabupaten/kota terkait melalui Badan Pengelola Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung (BP Cekban). Luas wilayah mencapai 349.750 hektar dengan jumlah penduduk total mencapai 9.317.644 jiwa (Tahun 2024) berdasarkan portal resmi Cekungan Bandung dan Badan Pusat Statistik. Total jumlah wilayah di kawasan ini sebanyak 2 kota, 3 kabupaten, dan 85 kecamatan.

Sebagai kawasan metropolitan yang berkembang dalam satu sistem cekungan, Cekungan Bandung memperlihatkan susunan ruang perkotaan yang dipengaruhi oleh peran kawasan inti dan hubungan fungsionalnya dengan wilayah di sekitarnya. Susunan tersebut tercermin pada perbedaan pola kawasan terbangun serta intensitas aktivitas perkotaan yang bervariasi secara spasial. Untuk lebih jelas, bagian Gambar 2 berikut menyajikan hasil analisis morfologi kawasan terbangun dan aktivitas perkotaan di Cekungan Bandung, yang selanjutnya dibaca melalui analisis zonal sebagai kerangka integratif.



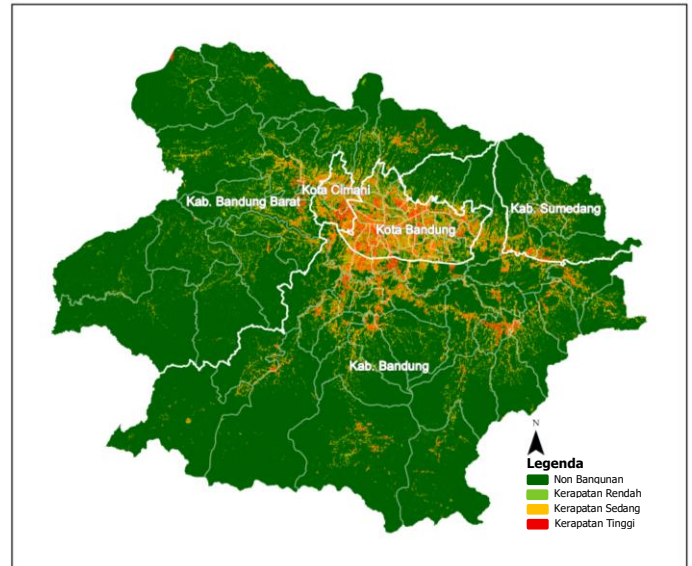
Gambar 2. Peta Kawasan Cekungan Bandung

Sumber: Penyusun, 2026

1. Fisik Perkotaan Cekungan Bandung

Hasil analisis NDBI menegaskan adanya diferensiasi struktur fisik perkotaan yang tajam di Cekungan Bandung, baik dari sisi intensitas spektral maupun distribusi spasial. Nilai maksimum NDBI sebesar 0,552 terkonsentrasi pada area inti metropolitan dengan

dominasi permukaan terbangun rapat, sedangkan nilai minimum $-0,826$ berasosiasi dengan kawasan non-bangunan seperti vegetasi, badan air, dan wilayah berlereng. Secara agregat, nilai rata-rata $-0,182$ dan median $-0,223$ menunjukkan bahwa permukaan non-bangunan masih mendominasi skala cekungan, sementara nilai NDBI positif yang tinggi hanya menempati bagian kecil wilayah. Total nilai NDBI sebesar $-1.593.406$ dari $8.776.404$ piksel yang ditunjukkan pada Gambar 3 memperlihatkan ketimpangan struktural, di mana intensifikasi fisik kota terlokalisasi kuat dan tidak berkembang secara proporsional terhadap luas wilayah metropolitan secara keseluruhan.



Gambar 3. Peta NDBI Cekungan Bandung Tahun 2025

Sumber: Penyusun, 2026

Pada tingkat administratif, ketimpangan tersebut semakin terlihat. Kota Bandung dan Kota Cimahi menempati posisi sebagai pusat konsentrasi kepadatan bangunan, dengan klaster kelas NDBI sedang hingga tinggi yang relatif kontinu. Kota Bandung menunjukkan intensitas urbanisasi fisik tertinggi, dengan sekitar 87% wilayah tergolong terbangun, menandakan tingkat pemadatan ruang yang telah mendekati saturasi struktural. Kota Cimahi memperlihatkan pola serupa dalam luasan yang lebih terbatas akibat ukuran wilayah administratif yang kecil. Sebaliknya, Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat (KBB) didominasi kelas non-bangunan dan kepadatan rendah, sementara kepadatan sedang berkembang secara selektif dan terfragmentasi mengikuti koridor tertentu. Kabupaten Sumedang memperlihatkan dominasi paling kuat pada kelas non-bangunan dengan struktur terbangun yang tersebar dan tidak membentuk klaster besar. Luasan kelas kepadatan tinggi pada skala cekungan yang hanya sekitar 5.889,7 ha menegaskan bahwa pemadatan fisik metropolitan bersifat sangat terpusat dan tidak merata secara spasial.

Distribusi spasial NDBI tersebut berkaitan dengan kondisi geomorfologi Cekungan Bandung sebagai dataran aluvial tertutup yang dikelilingi rangkaian

pegunungan vulkanik. Kota Bandung dan Kota Cimahi berada pada bagian cekungan dengan topografi relatif datar dan elevasi lebih rendah, sehingga secara geomorfologis lebih kondusif bagi perkembangan permukiman padat dan infrastruktur. Sebaliknya, Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Sumedang memiliki proporsi wilayah berlereng lebih tinggi dan karakter geomorfologi yang lebih kompleks, yang membatasi kontinuitas dan intensitas pembangunan fisik (Fuadina *et al.*, 2021). Konfigurasi cekungan ini mengarahkan akumulasi pertumbuhan fisik ke dataran pusat dan membatasi ekspansi homogen ke wilayah pinggiran serta lereng-lereng pegunungan (Fuadina *et al.*, 2021).

Output dari analisis ini berupa peta sebaran kerapatan bangunan berbasis NDBI yang menggambarkan distribusi spasial area non-bangunan hingga kawasan dengan kerapatan bangunan tinggi di Cekungan Bandung. Peta ini digunakan sebagai dasar untuk analisis lanjutan terkait morfologi perkotaan dan keterkaitannya dengan intensitas aktivitas wilayah.

2. Aktivitas Perkotaan Cekungan Bandung

Hasil statistik intensitas NTL menunjukkan adanya variasi yang jelas antar kabupaten/kota di Cekungan Bandung (Tabel 3). Kota Bandung dalam hal ini menunjukkan intensitas tertinggi dan konsisten dibanding wilayah lain, dengan nilai dengan nilai *mean* sebesar 29,56 nW/cm² sr dan maksimum mencapai 67,84 nW/cm² sr. Selain itu, nilai kepadatan NTL Kota Bandung sebesar 117,67 (nW/cm² sr)/km², yang menandakan bahwa intensitas cahaya malam di wilayah ini relatif terkonsentrasi dalam luasan administratif yang terbatas.

Kabupaten Bandung menunjukkan hal yang sebaliknya, di mana total akumulasi NTL (*sum*) paling tinggi sebesar 28218,98 nW/cm² sr, namun memiliki mean yang lebih rendah 4,05 nW/cm² sr dibanding Kota Bandung. Pola ini menggambarkan bahwa kontribusi total cahaya malam di Kabupaten Bandung dihasilkan dari luas wilayah yang besar dan keberadaan area-area yang bervariasi tingkat cahayanya, bukan dari intensitas rata-rata yang tinggi. Dari sisi variasi internal, nilai standar deviasi (*std*) cenderung lebih tinggi pada wilayah perkotaan, terutama Kota Bandung sebesar 8,98 nW/cm² sr dan Kota Cimahi sebesar 6,44 nW/cm² sr, dibanding kabupaten lainnya. Hal ini menunjukkan sebaran intensitas NTL yang lebih heterogen di dalam masing-masing wilayah tersebut, di mana nilai-nilai NTL tidak terkonsentrasi pada satu tingkat yang seragam melainkan mencakup rentang intensitas yang lebih beragam.

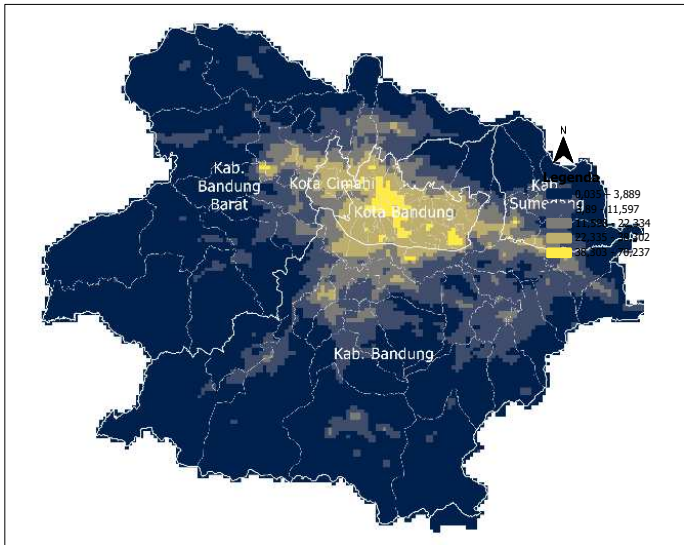
Tabel 3. Statistik Intensitas Cahaya Malam (NTL) pada Tingkat Kabupaten/Kota di Cekungan Bandung

Kabupaten	Kab. Bandung	Kab. Bandung Barat	Kota Cimahi	Kota Bandung	Kab. Sumedang
min	0	0,08	5,07	6,29	0,2
max	49,66	43,52	34,48	67,84	35,67
mean	4,05	3,04	21,53	29,56	4,67
sum	28218,98	15643,99	3617,48	19628,47	3820,29
std	5,52	4,33	6,44	8,98	5,85
NTL/km ²	16,19	12,18	85,16	117,67	18,52

Sumber: Penyusun, 2026

Dalam konteks spasial, intensitas NTL di Cekungan Bandung menunjukkan pola yang berbeda antara pusat kota dan wilayah sekitarnya. Wilayah dengan kelas nilai tertinggi (warna paling terang) tampak membentuk klaster yang relatif menyatu seperti yang terlihat pada Kota Bandung dan Kota Cimahi. Hal ini menunjukkan bahwa intensitas NTL di kawasan tersebut relatif lebih tinggi dan penyebarannya saling terhubung dibandingkan dengan wilayah periferal. Di luar pusat, intensitas NTL cenderung menurun secara bertahap menuju wilayah pinggiran, di mana dominasi kelas nilai rendah hingga menengah (warna lebih gelap).

Pola ini menunjukkan bahwa cahaya malam di daerah pinggiran lebih banyak terlihat seperti kantong-kantong kecil (*patchy*) daripada hamparan terang yang luas. Pola spasial menunjukkan bahwa intensitas cahaya malam di Cekungan Bandung terkonsentrasi di kawasan inti, sementara pada wilayah yang semakin menjauh dari pusat terlihat penurunan intensitas serta pencahayaan yang semakin terfragmentasi. Peta intensitas NTL Cekungan Bandung Tahun 2025 disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Intensitas NTL Cekungan Bandung Tahun 2025

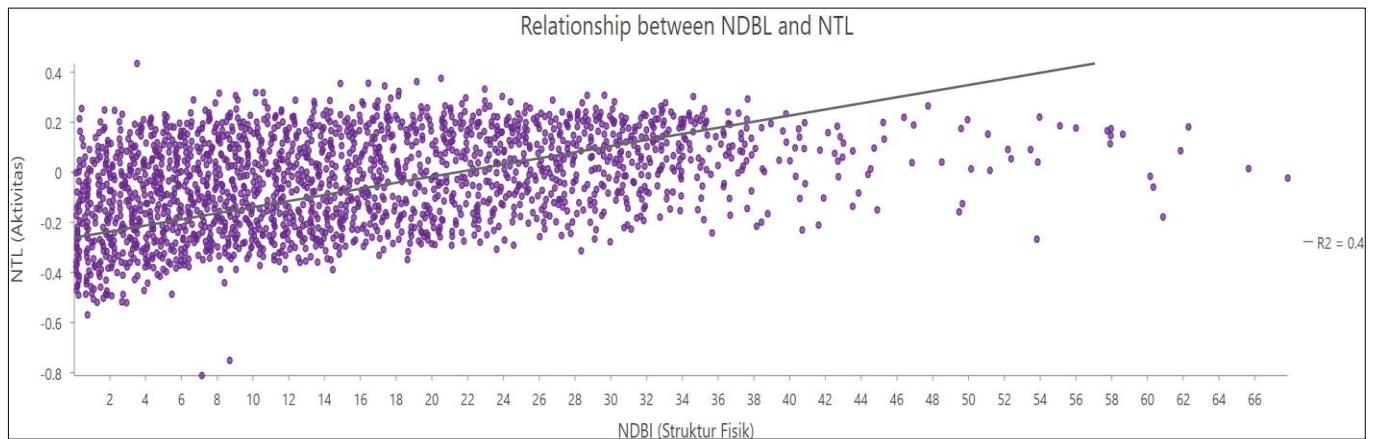
Sumber: Penyusun, 2026

3. Keterkaitan Struktur Fisik dan Aktivitas Malam Cekungan Bandung dalam Analisis Clockboard Zoning

3.1 Korelasi Struktur Fisik dan Aktivitas Malam Cekungan Bandung

Scatter plot pada Gambar 5 memperlihatkan pola sebaran titik yang membentuk tren positif, di mana peningkatan nilai NDBI secara umum diikuti oleh peningkatan nilai NTL. Garis regresi linear yang terbentuk mengikuti

persamaan $y = -0,261 + 0,0121x$, mengindikasikan bahwa setiap kenaikan satu satuan nilai NDBI berkontribusi pada peningkatan nilai NTL sebesar 0,0121 satuan. Meskipun sebaran titik cukup lebar yang mencerminkan heterogenitas spasial kawasan metropolitan, arah tren yang konsisten positif memberikan indikasi awal adanya hubungan searah antara kedua variabel.



Gambar 5. Gambar Scatter Plot Hubungan NDBI dan NTL di Cekungan Bandung Tahun 2025

Sumber: Penyusun, 2026

Uji korelasi Pearson menghasilkan $R = 0,636$ ($R^2 = 0,404$; $p < 0,001$), sedangkan uji Spearman menghasilkan $R = 0,642$ ($p < 0,001$). Konsistensi kedua uji mengonfirmasi adanya korelasi positif yang kuat dan signifikan secara statistik antara NDBI dan NTL di Cekungan Bandung, di mana kawasan dengan kepadatan bangunan lebih tinggi cenderung menunjukkan intensitas cahaya malam yang lebih tinggi pula.

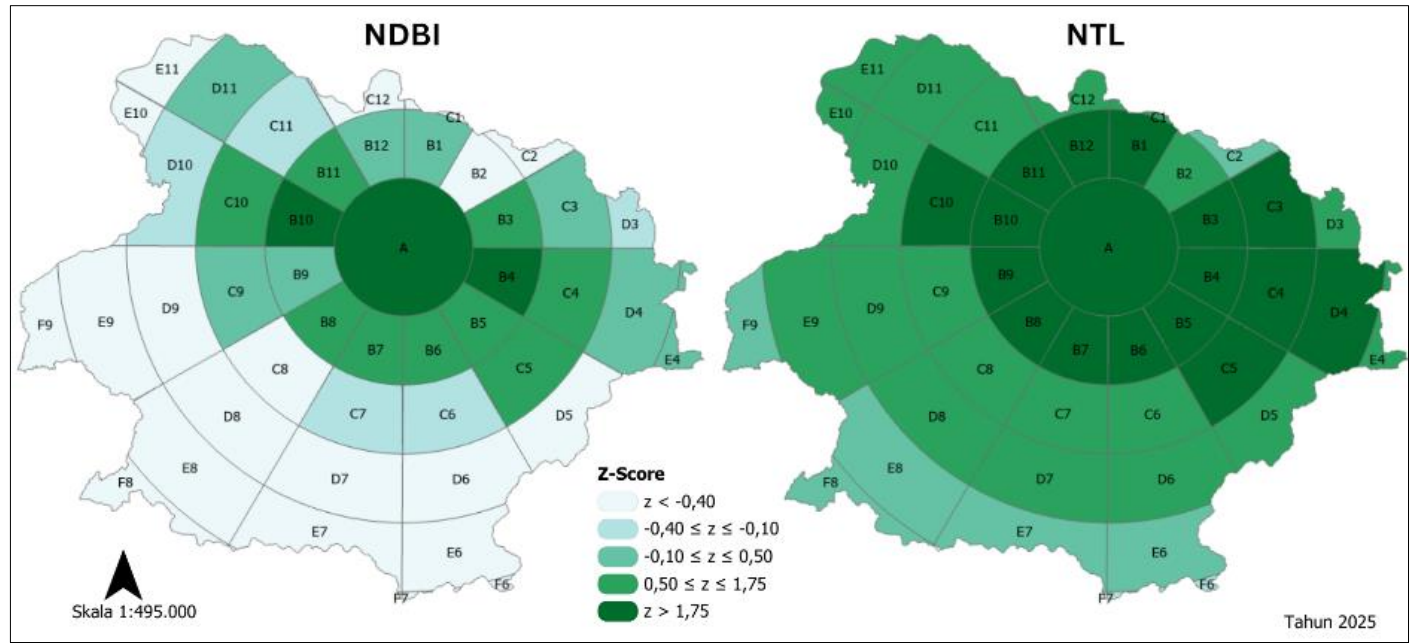
Meski demikian, nilai $R^2 = 0,404$ mengindikasikan bahwa 59,6% variasi NTL tidak dijelaskan oleh NDBI semata, yang mencerminkan adanya kesenjangan antara perkembangan struktur fisik dan intensitas aktivitas malam. Lefebvre (1992) berargumen bahwa ruang perkotaan dibentuk tidak hanya oleh wujud fisiknya, melainkan oleh praktik sosial dan ekonomi yang berlangsung di dalamnya, sehingga kepadatan bangunan dan kepadatan aktivitas tidak selalu bergerak paralel. Batty (2013) memperkuat hal ini dengan menyatakan bahwa intensitas aktivitas perkotaan lebih sensitif terhadap konfigurasi jaringan dan aksesibilitas dibanding kepadatan fisik bangunan.

3.2 Keterkaitan Struktur Fisik dan Aktivitas Malam Cekungan Bandung dalam Clockboard Zoning

Hasil normalisasi data pada peta NDBI (Gambar 5) menggunakan Z-score memperlihatkan rentang yang cukup lebar pada kawasan Cekungan Bandung. Hasil nilai yang dihasilkan yaitu -1,20 pada nilai minimum dan 3,229 pada nilai maksimum. Dari 45 zona clockboard yang dihasilkan, sebanyak 3 zona memiliki nilai sangat tinggi, seluruhnya terkonsentrasi di zona inti (A dan B) yang kemudian menyebar ke area B dan C. Sebaliknya, pada

sisi lingkaran terluar terlihat 20 zona yang berada pada kategori rendah, terutama pada ring luar dan sektor selatan-barat daya. Hal ini memperlihatkan bahwa area tersebut sebagian besar masih didominasi oleh area non-terbangun. Pola ini juga menunjukkan bahwa ekspansi fisik kawasan terbangun di Cekungan Bandung telah meluas ke arah tertentu dan hingga ring C (Gambar 5), namun tetap terkonsentrasi di pusat kawasan Cekungan Bandung, yaitu Kota Bandung.

Peta NTL (Gambar 5) menunjukkan adanya aktivitas malam yang bervariasi di kawasan Cekungan Bandung dengan nilai Z-score minimum -0,474 dan maksimum 3,585. Terdapat sebanyak 17 zona berada pada kategori sangat tinggi yang terkonsentrasi pada pusat kawasan Cekungan Bandung dan ke arah Timur, dari lingkaran A hingga D4. Hal tersebut menunjukkan pusat aktivitas ekonomi dan sosial yang tetap dominan pada malam hari. Hasil dari NTL hanya terdapat 1 zona dengan Z-score rendah ($z < -0,40$), yaitu di F7. Pada lingkaran terluar NTL, sebanyak 5 zona tergolong kategori sedang ($-0,10 < z < 0,50$) yang memperlihatkan bahwa seiring bertambahnya jarak dari pusat kota, intensitas aktivitas malam hari ikut menurun. Jika dibandingkan dengan Peta NDBI, penurunan intensitas NTL berlangsung lebih cepat ke arah pinggiran. Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun struktur fisik terbangun telah meluas, aktivitas malam tetap lebih terfokus pada pusat dan beberapa koridor. Perbedaan gradien antara intensitas NDBI dan NTL dapat dilihat pada Gambar 6 yang mengindikasikan adanya perbedaan laju perkembangan bentuk fisik dan fungsi aktivitas perkotaan di Cekungan Bandung.



Gambar 6. Peta Sandingan NDBI dan NTL yang diolah menggunakan *Clockboard Zone* Tahun 2025

Sumber: Penyusun, 2026

Selanjutnya, kedua data tersebut kemudian disandingkan. Proses penyandingan data ini dilakukan untuk menampilkan nilai skor pada NDBI dan NTL pada setiap zona *clockboard*. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam melihat keterkaitan antara struktur fisik dan aktivitas malam secara spasial Hasil sandingan lebih detil dijelaskan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Skor dan Klasifikasi

No	Kode	Fisik (NDBI)	Aktivitas (NTL)	Skor	Klasifikasi	No	Kode	Fisik (NDBI)	Aktivitas (NTL)	Skor	Klasifikasi
1	A	5	5	10	Sektor Inti/Pusat Kota	24	C11	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang
2	B1	3	5	8	Sektor Dominan Berkembang	25	C12	2	4	6	Sektor Transisi
3	B2	2	4	6	Sektor Transisi	26	D3	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang
4	B3	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	27	D4	3	5	8	Sektor Dominan Berkembang
5	B4	5	5	10	Sektor Inti/Pusat Kota	28	D5	2	4	6	Sektor Transisi
6	B5	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	29	D6	2	4	6	Sektor Transisi
7	B6	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	30	D7	2	4	6	Sektor Transisi
8	B7	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	31	D8	2	4	6	Sektor Transisi
9	B8	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	32	D9	2	4	6	Sektor Transisi
10	B9	3	5	8	Sektor Dominan Berkembang	33	D10	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang
11	B10	5	5	10	Sektor Inti/Pusat Kota	34	D11	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang
12	B11	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	35	E4	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang
13	B12	3	5	8	Sektor Dominan Berkembang	36	E6	2	3	5	Sektor Transisi
14	C1	2	4	6	Sektor Transisi	37	E7	2	3	5	Sektor Transisi
15	C2	2	3	5	Sektor Transisi	38	E8	2	3	5	Sektor Transisi
16	C3	3	5	8	Sektor Dominan Berkembang	39	E9	2	4	6	Sektor Transisi
17	C4	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	40	E10	2	4	6	Sektor Transisi
18	C5	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota	41	E11	2	4	6	Sektor Transisi
19	C6	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang	42	F6	2	3	5	Sektor Transisi
20	C7	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang	43	F7	2	2	4	Sektor Perifer Berkembang
21	C8	2	4	6	Sektor Transisi	44	F8	2	3	5	Sektor Transisi
22	C9	3	4	7	Sektor Dominan Berkembang	45	F9	2	3	5	Sektor Transisi
23	C10	4	5	9	Sektor Inti/Pusat Kota						

Sumber: Penyusun, 2026

Distribusi tipologi hasil klasifikasi bivariat menunjukkan bahwa keterkaitan antara struktur fisik terbangun dan intensitas aktivitas malam di Cekungan Bandung bersifat kuat dan konsisten. Dari total 45 zona, sebesar 26,7% zona di Kawasan Cekungan Bandung ini tergolong zona Sekotr Inti/Pusat Kota terbangun yang dicirikan dengan NDBI Tinggi-Sangat Tinggi dan NTL Sangat Tinggi. Kategori Sektor Dominan Berkembang, yaitu zona yang memiliki intensitas aktivtias malam sedang-tinggi dan tingkat bangunan sedang-tinggi sebanyak 28,89% atau 13 zona (Tabel 5). Temuan ini menunjukkan bahwa ekspansi fisik kawasan Cekungan Bandung selalu disertai oleh intensifikasi fungsi aktivitas yang menunjukkan hubungan bentuk-fungsi relatif sinkron.

Zona Sektor Transisi mencakup 19 zona atau 42,22% yang rata-rata terkonsentrasi pada area lingkaran luar, artinya memiliki nilai NDBI sedang dan NTL sedang. Pada analisis *clockboard* menunjukkan bahwa intensitas aktivitas malam terus menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari pusat kota. Pola ini memperlihatkan gejala *radial-decay* yang tidak sepenuhnya isotropik karena koridor aktivitas yang cenderung muncul kuat pada sektor barat laut (zona B10-B11, C10-C11 (Kab. Bandung: Kec. Margaasih, Kab. Bandung Barat: Kec. Batujajar, Kec. Cihampelas, Kec. Ngamprah, Kec. Padalarang; Kota Cimahi: Kec. Cimahi Tengah dan Kec. Cimahi Selatan)) dan arah timur laut (zona B3-B4, C3-C4 (Kab. Bandung: Kec. Cilengkrang, Kec. Cileunyi, Kec. Cimenyan; Kota Bandung: Kec. Arcamanik, Kec. Cibiru, Kec. Buah Batu, Kec. Cinambo, Kec. Mandalajati, Kec. Panyileukan, Kec. Ujung Berung; Kab. Sumedang: Kec. Jatinangor, Kec. Sukasari; Kab. Bandung: Kec. Bojongsoang, Kec. Cileunyi, Kec. Rancaekek, Kec. Solokan Jeruk) yang mengikuti jaringan transportasi utama. Fenomena anistropi perkembangan ini sejalan dengan teori bahwa ekspansi kota mengikuti jaringan aksesibilitas dan koridor ekonomi, tidak hanya berdasarkan jarak geometrik dari pusat (Afrianto & Rendra, 2023).

Namun, terdapat sejumlah zona yang menunjukkan ketidak sesuaian antara struktur fisik dan intensitas aktivtias perkotaan, khususnya pada kombinasi nilai NTL tinggi dengan NDBI yang relatif lebih rendah. Peristiwa ini teridentifikasi pada zona B11, B12, D6, D7, D8, D9, dan E10 (Kab. Bandung Barat: Kec. Cisarua, Kec. Ngamprah, Kec. Padalarang; Kota Cimahi: Kota Cimahi Utara; Kab. Bandung: Kec. Kertasari, Kec. Pacet, Kec. Pengalengan, Kec. Ciwidey, Kec. Pasir Jambu, Kec. Gununghalu, Kec. Cipuendeuy). Jika dilihat berdasarkan klasifikasi masih tergolong sektor transisi hingga dominan berkembang, tetapi kondisi mencerminkan gejala *morphological lag*, yaitu ketika intensitas aktivitas berkembang lebih cepat dibandingkan pembentukan struktur fisik kawasan.

Jika dikaitkan dengan kondisi riil wilayah Cekungan Bandung, pola ini kemungkinan merepresentasikan kawasan koridor timur seperti wilayah selatan-timur yang banyak berkembang sebagai kawasan industri,

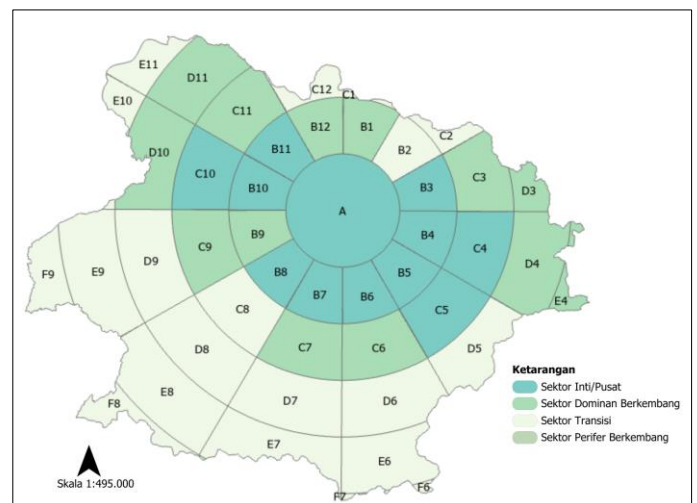
pergudangan, dan transportasi. Aktivitas tersebut menghasilkan intensitas NTL tinggi akibat aktivitas mobilitas malam hari, namun belum sepenuhnya diikuti dengan morofologi perkotaan. Temuan ini menunjukkan bahwa proses urbanisasi di Cekungan Bandung tidak selalu dimulai dari densifikasi fisik, tetapi juga dapat didorong oleh intensifikasi aktivitas fisik berbasis koridor yang kemudian diikuti dengan perubahan struktur ruang secara bertahap. Untuk lebih jelas dapat di lihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Tipologi NDBI dan NTL

No	Tipologi	Skor	Jumlah
1	Sektor Inti/Pusat Kota	9-10	12
2	Sektor Dominan Berkembang	7-8	13
3	Sektor Transisi	5-6	19
4	Sektor Perifer Berkembang	3-4	1
5	Non-Urban	1-2	0

Sumber: Penyusun, 2026

Berdasarkan hasil analisis, tidak adanya kategori zona non-urban dan dominannya koridor aktivitas ekonomi malam di kawasan Cekungan Bandung berkembang secara ko-evolutif atau berkembang secara beriringan yang saling mempengaruhi, antara pembangunan kawasan terbangun dengan peningkatan fungsi aktivitas. Peta tipologi NDBI dan NTL disajikan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Peta Tipologi NDBI dan NTL

Sumber: Penyusun, 2026

Diskusi

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa struktur fisik dan aktivitas perkotaan di Cekungan Bandung tidak berkembang secara linier maupun sepenuhnya terpadu, melainkan membentuk konfigurasi spasial yang kompleks dan terpisah-pisah. Integrasi indikator morfologi fisik berbasis NDBI dan indikator aktivitas berbasis NTL menunjukkan bahwa kawasan dengan kepadatan terbangun tinggi tidak selalu berhubungan dengan intensitas aktivitas yang tinggi, dan begitu pula sebaliknya. Temuan ini juga menegaskan bahwa morfologi kota tidak hanya mencerminkan bentuk fisik, tetapi hasil interaksi dinamis antara struktur ruang,

fungsi ekonomi, dan pola aktivitas manusia dalam lintasan waktu tertentu.

Secara morfologis, kepadatan fisik di Cekungan Bandung masih menunjukkan kecenderungan konsentris yang kuat dengan inti utama di Kota Bandung dan Cimahi, sebagaimana diidentifikasi oleh (Wijaya *et al.*, 2020). Namun, penelitian ini memperluas pemahaman tersebut dengan menunjukkan bahwa perluasan fisik ke pinggiran wilayah tidak selalu dilakukan dengan menignstifikan aktivitas akibat dari penurunan NTL di banyak daerah pinggiran kota. Fenomena menunjukkan terjadinya keterlambatan morfologis atau keadaan di mana perkembangan fisik kota mencerminkan fungsi dan aktivitasnya. Berdasarkan teori morfologi perkotaan, kondisi ini sejalan dengan pandangan Conzenian yang menekankan bahwa perubahan bentuk fisik sering kali merepresentasikan fase transisi, tidak hanya transformasi sosial-ekonomi yang berlangsung secara terus-menerus (Whitehand, 2007).

Sementara itu, hasil analisis juga menunjukkan keberadaan zona-zona aktivitas dengan intensitas NTL tinggi pada kawasan yang secara fisik tidak tergolong paling padat/tinggi. Zona ini umumnya berhubungan dengan pusat kegiatan ekonomi baru, koridor transportasi utama, dan simpul jaringan perkotaan, sehingga memperkuat bukti bahwa aktivitas di perkotaan lebih sensitif terhadap konfigurasi jaringan, aksesibilitas, dan fungsi ruang dibandingkan kepadatan bangunan. Temuan ini juga selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan Afrianto dan Rendra (2023) di Kota Malang serta Prasetyo *et al.* (2025) di Kabupaten Pasuruan, yang menunjukkan bahwa NTL mampu mengungkap pusat dan sub-pusat aktivitas yang tidak selalu berimpit dengan pusat morfologi fisik tradisional.

Dalam kerangka teori polisentrisme, hasil penelitian ini menunjukkan tengah mengalami pergeseran menuju struktur metropolitan yang semakin polisentris. Munculnya sejumlah kluster aktivitas dengan intensitas NTL tinggi di luar pusat kota historis mencerminkan diferensiasi fungsi ruang yang lazim terjadi pada wilayah metropolitan yang sedang berkembang. Namun, struktur yang terbentuk berbeda dari model polisentris ideal yang ditopang oleh integrasi jaringan dan keseimbangan fungsi (Batty, 2013), struktur yang teridentifikasi di Cekungan Bandung cenderung bersifat asimetris dan terfragmentasi. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan sub-pusat lebih banyak dipengaruhi oleh dinamika pasar lahan dan aksesibilitas transportasi dibandingkan oleh strategi tata ruang yang koheren.

Berdasarkan perspektif metodologis dan perencanaan, hasil ini menguatkan kritik terhadap penggunaan indikator morfologi fisik tunggal dalam memahami dinamika perkotaan. Sebagaimana dikemukakan oleh Wang *et al.* (2022), menegaskan bahwa adanya keterbatasan pemahaman pada pemetaan fisik dengan menggunakan *remote sensing* apabila tidak disertai

interpretasi yang mengaitkan bentuk fisik dengan proses sosial-ekonomi. Integrasi NDBI dan NTL dalam penelitian ini memungkinkan pembacaan morfologi kota yang lebih bermakna dengan memperlakukan bentuk dan fungsi sebagai dua dimensi yang saling melengkapi. Ketidakesuaian spasial antara kepadatan fisik dan intensitas aktivitas juga memiliki implikasi penting bagi efisiensi ruang dan kualitas lingkungan perkotaan, sehingga morfologi kota dapat berfungsi sebagai *diagnostic tool* untuk mengidentifikasi ketidakseimbangan struktural dalam sistem perkotaan (A. Lefebvre *et al.*, 2016).

KESIMPULAN

Analisis NDBI, NTL, dan *clockboard zoning* menunjukkan bahwa struktur fisik dan aktivitas perkotaan di Cekungan Bandung berkembang tidak sepenuhnya sinkron dan membentuk pola spasial yang bersifat konsentris-sektoral. NDBI mengindikasikan pemusatan kuat kepadatan bangunan pada kawasan inti metropolitan, sementara NTL memperlihatkan distribusi aktivitas malam yang lebih luas namun menurun lebih cepat ke arah pinggiran dan mengikuti koridor tertentu. Perbedaan gradien spasial antara kedua indikator ini menegaskan bahwa intensifikasi aktivitas tidak selalu sejalan dengan ekspansi fisik kawasan terbangun. Integrasi NDBI dan NTL melalui *clockboard zoning* mengungkap dominasi Sektor Transisi dan Sektor Dominan Berkembang, dengan Sektor Inti/Pusat Kota yang relatif terkunci pada ring dalam dan sektor tertentu. Pola ini menunjukkan adanya *morphological lag* serta kecenderungan menuju struktur metropolitan polisentris yang asimetris dan berbasis koridor, bukan terdistribusi secara seimbang. Temuan ini menegaskan bahwa pemodelan spasial berbasis integrasi struktur fisik dan aktivitas malam memberikan pemahaman yang lebih utuh terhadap dinamika perkotaan Cekungan Bandung, sekaligus menjadi dasar empiris untuk mengidentifikasi ketidakseimbangan struktural dalam perencanaan metropolitan yang lebih adaptif.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil. Dari sisi data, NDBI berbasis Sentinel-2 hanya merepresentasikan keberadaan permukaan terbangun secara fisik tanpa membedakan fungsi ruang di dalamnya, sementara data NTL dari VIIRS *Black Marble* dengan resolusi 500 meter kurang optimal untuk analisis pada zona-zona berukuran kecil dan area berdensitas rendah di wilayah perifer cekungan (Gibson *et al.*, 2021). Selain itu, NTL hanya merekam aktivitas malam hari sehingga aktivitas ekonomi dan sosial yang dominan pada siang hari tidak tertangkap sepenuhnya. Dari sisi metode, penggunaan titik pusat tunggal dalam *clockboard zoning* mengandung asumsi monosentris yang dapat mereduksi kompleksitas struktur metropolitan yang sesungguhnya, sementara sifat analisis yang *cross-sectional* membatasi kemampuan penelitian ini untuk menangkap dinamika perubahan temporal. Penelitian ini memberikan beberapa peluang untuk

pengembangan lebih lanjut, di antaranya:

1. Analisis temporal *time series* menggunakan data NDBI dan NTL secara berurutan untuk mengidentifikasi trajektori perkembangan setiap zona;
2. Integrasi data aktivitas siang hari seperti data mobilitas untuk melengkapi gambaran yang hanya tertangkap oleh NTL;
3. Pengembangan *clockboard zoning* dengan *multiple center* untuk mengakomodasi struktur metropolitan yang bersifat polisentris; dan
4. Penerapan pendekatan serupa pada kawasan metropolitan lain di Indonesia untuk membangun pemahaman komparatif.

REKOMENDASI

Berdasarkan peta tipologi NDBI dan NTL, arah perencanaan kawasan metropolitan Cekungan Bandung dapat dibedakan secara spasial sesuai karakter struktur-aktivitas masing-masing zona. Sektor Inti/Pusat Kota, yang dicirikan oleh intensitas fisik dan aktivitas yang sama-sama tinggi, dapat diarahkan pada pengendalian intensitas melalui optimalisasi fungsi ruang dan peningkatan kapasitas infrastruktur bukan ekspansi fisik lanjutan di Kota Bandung dan Cimahi selaras dengan strategi pengendalian beban kawasan inti yang diamanatkan Perpres No. 45 Tahun 2018 tentang RTR Kawasan Perkotaan Cekungan Bandung, serta instrumen KDB/KLB/KDH yang diatur dalam RTRW Kota Bandung (RTRW) Kota Bandung Perda No. 5 Tahun 2022 (Presiden Republik Indonesia, 2018; Pemerintah Kota Bandung, 2022).

Sektor Dominan Berkembang yang dalam penelitian ini teridentifikasi di koridor barat laut dan timur laut, mencakup Kecamatan Ngamprah, Padalarang, Jatinangor, dan Cileunyi, dapat berfungsi sebagai subpusat metropolitan melalui penyelarasan pembangunan fisik dan aktivitas ekonomi; penguatan fungsi kawasan ini sekaligus merupakan operasionalisasi amanat RTR KPCB untuk mendistribusikan beban dari kawasan inti ke 15 kawasan perkotaan sekitarnya guna mengendalikan *urban sprawl* (Presiden Republik Indonesia, 2018), dan dapat diterjemahkan lebih lanjut melalui RDTR yang tengah disusun sebagai tindak lanjut RTRW Kota Bandung. Pada Sektor Transisi yang mendominasi wilayah cekungan, kebijakan perencanaan dapat difokuskan pada penajaman fungsi ruang untuk mereduksi ketidakseimbangan struktur-aktivitas di wilayah Kabupaten Bandung, prioritas ini dapat diintegrasikan ke dalam penyusunan RDTR berbasis Wilayah Pengembangan sesuai RTRW Perda No. 1 Tahun 2024, dengan menjadikan pola *morphological lag* yang teridentifikasi di koridor timur-selatan mencakup Kecamatan Kertasari, Pacet, Pengalengan, dan Ciwidey sebagai basis penetapan intensitas ruang (Pemerintah Kabupaten Bandung, 2024).

Sementara itu, Sektor Perifer Berkembang dapat diposisikan sebagai zona penyangga dengan pengendalian konversi lahan dan penguatan fungsi lokal, sesuai arahan kawasan lindung dalam RTRW Kabupaten Bandung yang sama. Secara keseluruhan, integrasi NDBI dan NTL melalui pemodelan zonal berbasis *clockboard* dapat dimanfaatkan sebagai dasar empiris dalam merumuskan arah perencanaan metropolitan yang lebih adaptif, dengan menggeser pendekatan dari ekspansi berbasis jarak menuju pengelolaan perkembangan kota yang mempertimbangkan arah, fungsi, dan tahapan perkembangan kawasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, A., Widiatmaka, W., Munibah, K., & Firmansyah, I. (2023). Pola Spasial Perubahan Tutupan Lahan/Penggunaan Lahan Menggunakan Google Earth Engine di Kabupaten Majalengka. *Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Kota*, 19(4), 447-463. <https://doi.org/10.14710/pwk.v19i4.46254>
- Afrianto, F., Hariyanto, A. D., & Tucunan, K. P. (2025). Nighttime Lights as Indicators of Energy Efficiency Across Urban Morphologies in Malang City. *Journal of Regional and City Planning*, 36(1), 68-91. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2025.36.1.5>
- Afrianto, F., & Rendra. (2023). *Morfologi Kota Malang : Sebuah Tinjauan dari Nighttime Light Satellite Imagery*. 3(2).
- Andrade, C. (2021). Z Scores, Standard Scores, and Composite Test Scores Explained. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 43(6), 555-557. <https://doi.org/10.1177/02537176211046525>
- Batty, M. (2013). *A proposal for a new way to understand cities and their design not as artifacts but as systems composed of flows and networks*. The MIT Press.
- BPS. (2025). *Jawa Barat Dalam Angka Tahun 2025*.
- Fuadina, L. N., Rustiadi, E., & Pravitasari, A. E. (2021). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Urban Sprawl di Kawasan Cekungan Bandung. *TATALOKA*, 23(1), 105-114. <https://doi.org/10.14710/tataloka.23.1.105-114>
- Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where? *Journal of Development Economics*, 149, 102602. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102602>
- Lefebvre, A., Sannier, C., & Corpetti, T. (2016). Monitoring Urban Areas with Sentinel-2A Data: Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree. *Remote Sensing*, 8(7), 606. <https://doi.org/10.3390/rs8070606>
- Lefebvre, H. (1992). *The Production Space*. Wiley.
- Levin, N., Kyba, C. C. M., Zhang, Q., Sánchez de Miguel, A., Román, M. O., Li, X., Portnov, B. A., Molthan, A. L., Jechow, A., Miller, S. D., Wang, Z., Shrestha, R. M., & Elvidge, C. D. (2020). Remote sensing of night lights: A review and an outlook for the future.

- Remote Sensing of Environment*, 237, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111443>
- Lovelace, R., Tennekes, M., & Carlino, D. (2021). *ClockBoard: a zoning system for urban analysis*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/vncgw>
- Mukhoriyah, M., Arifin, S., Dewi, E. K., & Silvia, S. (2021). Analysis of Development Patterns of Built Land and Spatial Structure in Bandung City Using Landsat 8 Image Data. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(1), 36–42. <https://doi.org/10.14710/jil.19.1.36-42>
- Murtadho, A., Pravitasari, A. E., Munibah, K., Saizen, I., & Rustiadi, E. (2022). Controlling the Urban Physical Development in Karawang and Purwakarta Regencies using Quantitative Zoning Approach. *Indonesian Journal of Geography*, 54(2). <https://doi.org/10.22146/ijg.70358>
- Njambi, R. (2022). *An Introduction to Zonal Statistics*. Tech. <https://up42.com/blog/an-introduction-to-zonal-statistics>
- Prasetyo, P., Listyawati, R. N., Alfiah, R., Wahyuningtyas, L., & Rambe, S. S. U. (2025). *Urban Morphology and Nighttime Lights: A Spatial Modelling Study in Pasuruan Regency* (pp. 14–23). https://doi.org/10.2991/978-94-6463-920-9_3
- Putro, D. H., Pramana, S., & Hendrawan, D. (2025). Socioeconomic impact of COVID-19 restrictions in Bali: A nighttime light analysis. *Jurnal Ekonomi Indonesia*, 14(1), 93–110. <https://doi.org/10.52813/jei.v14i1.220>
- Sakti, A. D., Deliar, A., Hafidzah, D. R., Chintia, A. V., Anggraini, T. S., Ihsan, K. T. N., Virtriana, R., Suwardhi, D., Harto, A. B., Nurmaulia, S. L., Aritenang, A. F., Riqqi, A., Hernandi, A., Soeksmantono, B., & Wikantika, K. (2024). Machine learning based urban sprawl assessment using integrated multi-hazard and environmental-economic impact. *Scientific Reports*, 14(1), 13385. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62001-6>
- Solihin, I. P. S., & Kurniyanto, R. (2021). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Untuk Estimasi Luas Lahan Terbangun dan Tidak Terbangun pada Kota Bandung. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(5), 816–827. <https://doi.org/10.36418/jist.v2i5.150>
- Somantri, L. (2022). Pemetaan mobilitas penduduk di kawasan pinggiran Kota Bandung. *Majalah Geografi Indonesia*, 36(2), 95. <https://doi.org/10.22146/mgi.70636>
- Sunarta, I. N., & Saifulloh, M. (2022). COASTAL TOURISM: IMPACT FOR BUILT-UP AREA GROWTH AND CORRELATION TO VEGETATION AND WATER INDICES DERIVED FROM SENTINEL-2 REMOTE SENSING IMAGERY. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 41(2), 509–516. <https://doi.org/10.30892/gtg.41223-857>
- Ulimaz, M., Dewancker, B. J., & Harfadli, M. M. (2025). City branding through spatial popularity: a data-driven perspective from Balikpapan City as a satellite city of Nusantara Capital City of Indonesia. *City and Built Environment*, 3(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s44213-025-00058-3>
- Wang, J., Georganos, S., Kuffer, M., Abascal, A., & Vanhuyse, S. (2022). On the knowledge gain of urban morphology from space. *Computers, Environment and Urban Systems*, 95, 101831. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101831>
- Whitehand, J. W. R. (2007). Conzenian urban morphology and urban landscapes. *6 Th International Space Syntax Symposium*, ii-1-ii-9. http://www.spacesyntaxistanbul.itu.edu.tr/papers/invitedpapers/Jeremy_whitehand.pdf
- Wijaya, R. P., Susilo, B., & Widayani, P. (2020). POLA PERKEMBANGAN MORFOLOGI FISIK KOTA DI CEKUNGAN BANDUNG PERIODE 2009 – 2018. *Jurnal Teknosains*, 10(1), 19. <https://doi.org/10.22146/teknosains.45051>
- Wu, J., Tu, Y., Chen, Z., & Yu, B. (2022). Analyzing the Spatially Heterogeneous Relationships between Nighttime Light Intensity and Human Activities across Chongqing, China. *Remote Sensing*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/rs14225695>
- Yu, B., Tang, M., Wu, Q., Yang, C., Deng, S., Shi, K., Peng, C., Wu, J., & Chen, Z. (2018). Urban Built-Up Area Extraction From Log-Transformed NPP-VIIRS Nighttime Light Composite Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(8), 1279–1283. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2830797>
- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Zhou, C., Cheng, W., Li, M., & Huang, K. (2020). Building a Series of Consistent Night-Time Light Data (1992–2018) in Southeast Asia by Integrating DMSP-OLS and NPP-VIIRS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(3), 1843–1856. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2949797>