



Pemanfaatan Data *Nighttime Light* untuk Analisis Morfologi Perkotaan di Kabupaten Semarang

Joko Prasetyo

GIS Analyst, Shirvano Consulting, Indonesia

Penulis Korespondensi: jokoprasetyo.gis@gmail.com

Abstract. *Semarang Regency is experiencing dynamic urban development as an impact of regional economic growth and its position in the Kedungsepur metropolitan agglomeration. This spatial dynamic requires continuous monitoring to understand its growth patterns. This study aims to analyze the morphology of urban development in Semarang Regency by utilizing Nighttime Light (NTL) remote sensing data from the VIIRS sensor for two periods: 2014 and 2024. The clockboard zones method was applied to analyze spatial patterns of light intensity distribution, identifying multi-centric development tendencies and urban sprawl phenomena with a total light intensity increase 86,13%. The results indicate that urban development in Semarang Regency does not converge toward a single center but is distributed along transportation corridors and secondary activity nodes, particularly in Ring 2 and Ring 3 zones. These findings offer strategic insights for spatial planning, regional development policy, and infrastructure provision.*

Keywords: *Clockboard Zones; Nighttime Light; Semarang Regency; Urban Morphology; Urban Sprawl.*

Abstrak. Kabupaten Semarang mengalami perkembangan perkotaan yang dinamis sebagai dampak dari pertumbuhan ekonomi regional dan posisinya dalam aglomerasi metropolitan Kedungsepur. Dinamika spasial ini memerlukan pemantauan berkelanjutan untuk memahami pola pertumbuhannya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis morfologi perkembangan perkotaan di Kabupaten Semarang melalui pemanfaatan data penginderaan jauh *Nighttime Light* (NTL) dari sensor VIIRS pada dua periode, yaitu tahun 2014 dan 2024. Metode *clockboard zones* diterapkan untuk menganalisis pola spasial distribusi intensitas cahaya, mengidentifikasi kecenderungan perkembangan multi-sentrik, serta fenomena *urban sprawl* dengan peningkatan total intensitas cahaya sebesar 86,13%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkembangan perkotaan di Kabupaten Semarang tidak memusat pada satu titik inti (*monosentris*), melainkan tersebar mengikuti koridor transportasi dan simpul aktivitas sekunder, terutama pada zona Ring 2 dan Ring 3. Temuan ini memberikan rekomendasi strategis untuk perencanaan tata ruang, kebijakan pengembangan wilayah, dan penyediaan infrastruktur.

Kata Kunci: *Clockboard Zones; Kabupaten Semarang; Morfologi Perkotaan; Nighttime Light; Urban Sprawl.*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kabupaten Semarang merupakan wilayah yang secara geografis berada di antara kawasan metropolitan Semarang dan wilayah agraris Jawa Tengah bagian selatan. Posisi strategis ini menjadikannya salah satu kabupaten dengan dinamika perkembangan wilayah yang cukup signifikan, terutama didorong oleh pertumbuhan industri, permukiman, dan sektor pariwisata (Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang, 2023). Dalam satu dekade terakhir, kawasan ini mengalami transformasi spasial yang ditandai oleh ekspansi kawasan terbangun ke arah wilayah pinggiran kota, perubahan tutupan lahan, serta peningkatan intensitas aktivitas ekonomi di berbagai penjuru wilayah. Pemahaman terhadap pola morfologi perkotaan menjadi sangat penting dalam konteks perencanaan wilayah yang berkelanjutan.

Morfologi kota tidak hanya mencerminkan kondisi fisik kawasan terbangun, tetapi juga merefleksikan dinamika sosial, ekonomi, dan interaksi antara pusat dan pinggiran kota (Batty, 2008; Brothie et al., 1995). Salah satu pendekatan inovatif yang dapat digunakan untuk menganalisis morfologi perkotaan secara spasial dan temporal adalah pemanfaatan data penginderaan jauh, khususnya data *Nighttime Light* (NTL) yang dihasilkan oleh sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) pada satelit Suomi NPP.

Data NTL telah terbukti menjadi proksi yang handal untuk menggambarkan tingkat urbanisasi, intensitas aktivitas ekonomi, dan perkembangan infrastruktur suatu wilayah (Henderson et al., 2012; Elvidge et al., 2017). Kelebihan utama data ini terletak pada ketersediaannya secara temporal yang konsisten dan cakupannya yang bersifat regional hingga global, sehingga sangat sesuai digunakan untuk analisis perubahan morfologi kota dalam jangka waktu tertentu. Berbagai penelitian telah memanfaatkan data NTL untuk mengidentifikasi batas-batas kawasan perkotaan, mengukur tingkat polusi cahaya, serta memahami fenomena *urban sprawl* di berbagai konteks wilayah (Imhoff et al., 1997; Liu et al., 2012; Zhao et al., 2019).

Di samping itu, metode *clockboard zones* menawarkan kerangka analisis spasial yang sistematis untuk memahami variasi intensitas perkembangan wilayah berdasarkan jarak dari pusat kota dan arah sektoral. Metode ini telah digunakan secara luas dalam studi geografi perkotaan untuk mengidentifikasi pola pertumbuhan kota dan struktur keruangan wilayah metropolitan (Galster et al., 2001; Schwanen et al., 2004). Penggabungan metode *clockboard zones* dengan data NTL memberikan kemampuan analisis yang lebih komprehensif dalam menggambarkan dinamika morfologi perkotaan secara kuantitatif dan spasial.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi pola distribusi intensitas cahaya malam di Kabupaten Semarang pada tahun 2014 dan 2024; (2) menganalisis perubahan morfologi perkotaan menggunakan metode *clockboard zones*; serta (3) menginterpretasikan fenomena perkembangan wilayah yang tercermin dari perubahan data NTL dalam rentang waktu satu dekade. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi pengambilan kebijakan perencanaan tata ruang, dan pembangunan infrastruktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Morfologi Perkotaan dan Perkembangan Wilayah

Morfologi perkotaan merupakan cabang ilmu yang mempelajari bentuk dan struktur fisik kota serta proses yang membentuknya dari waktu ke waktu.

Konsep ini mencakup analisis pola penggunaan lahan, distribusi kawasan terbangun, jaringan jalan, dan hubungan antara pusat dan pinggiran kota (Whitehand, 1981; Moudon, 1997). Dalam konteks perkembangan wilayah, morfologi kota tidak hanya bersifat statis, melainkan terus berubah seiring dengan pertumbuhan penduduk, transformasi ekonomi, dan perubahan kebijakan tata ruang.

Teori perkembangan kota telah banyak dikembangkan, di antaranya model konsentris Burgess (1925) yang menyatakan bahwa kota berkembang secara melingkar dari pusat ke pinggiran, model sektoral Hoyt (1939) yang menekankan perkembangan kota mengikuti jalur transportasi, dan model multi-inti Harris dan Ullman (1945) yang mengusulkan bahwa kota memiliki beberapa pusat kegiatan yang saling memengaruhi (Pacione, 2005). Model-model ini memberikan kerangka konseptual yang relevan untuk memahami pola spasial perkembangan Kabupaten Semarang yang cenderung bersifat polisentris dan sektoral.

Data *Nighttime Light* (NTL) sebagai Indikator Urbanisasi

Data *Nighttime Light* (NTL) merupakan produk penginderaan jauh yang menangkap pancaran cahaya buatan pada malam hari dari permukaan bumi. Data ini pertama kali dimanfaatkan secara luas oleh Elvidge et al. (1997) untuk memetakan distribusi kawasan perkotaan secara global. Sensor VIIRS yang digunakan dalam penelitian ini memiliki resolusi spasial 750 meter dan kemampuan deteksi radiometrik yang lebih baik dibandingkan sensor DMSP/OLS yang digunakan pada generasi sebelumnya (Elvidge et al., 2013).

Henderson et al. (2012) membuktikan bahwa data NTL memiliki korelasi yang signifikan dengan output ekonomi dan tingkat pembangunan suatu wilayah, sehingga dapat digunakan sebagai proksi pertumbuhan ekonomi di wilayah yang data statistiknya terbatas. Zhao et al. (2019) lebih lanjut menunjukkan bahwa perubahan intensitas NTL secara temporal merupakan indikator yang akurat untuk mengukur laju urbanisasi dan ekspansi kawasan terbangun. Dalam konteks Indonesia, beberapa penelitian telah memanfaatkan data NTL untuk menganalisis pola urbanisasi di Pulau Jawa (Sutomo et al., 2021; Widodo et al., 2022), meskipun kajian spesifik di tingkat kabupaten masih sangat terbatas.

Metode *Clockboard Zones* dalam Analisis Spasial Perkotaan

Metode *clockboard zones* adalah pendekatan analisis spasial yang membagi wilayah kajian ke dalam zona-zona radial konsentris dan sektoral dengan pusat kota sebagai titik acuan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Schwanen et al. (2004) dan dikembangkan lebih lanjut oleh Galster et al. (2001) untuk mengukur tingkat *urban sprawl* secara kuantitatif.

Dengan membagi wilayah ke dalam ring dan segmen sektoral, metode ini memungkinkan analisis variasi intensitas aktivitas perkotaan berdasarkan jarak dari pusat dan orientasi arah yang berbeda-beda. Keunggulan metode *clockboard zones* terletak pada kemampuannya untuk mengidentifikasi pola perkembangan yang tidak simetris, mengukur derajat polisentrisitas suatu kota, dan mendeteksi keberadaan pusat-pusat aktivitas sekunder di luar inti kota. Ketika diintegrasikan dengan data NTL, metode ini dapat menghasilkan analisis kuantitatif mengenai perubahan morfologi perkotaan secara spasial dan temporal dengan tingkat detail yang memadai (Liu et al., 2012; Small et al., 2005).

Urban Sprawl dan Implikasinya terhadap Perencanaan Wilayah

Urban sprawl atau perluasan kota secara tidak terencana merupakan fenomena yang umum dijumpai pada kota-kota berkembang di Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Fenomena ini ditandai oleh ekspansi kawasan terbangun yang tersebar secara horizontal ke arah pinggiran kota, seringkali tanpa disertai perencanaan infrastruktur yang memadai (Seto et al., 2011; Angel et al., 2011). Dampak negatif *urban sprawl* meliputi inefisiensi penggunaan lahan, peningkatan konsumsi energi, degradasi lingkungan, serta kesenjangan akses terhadap fasilitas dan layanan publik. Identifikasi dini fenomena *urban sprawl* melalui analisis data NTL dan pendekatan *clockboard zones* memiliki nilai strategis dalam perencanaan wilayah. Temuan empiris mengenai pola ekspansi spasial dapat digunakan sebagai dasar penyusunan kebijakan tata ruang yang lebih adaptif dan terarah, khususnya dalam mengarahkan pertumbuhan ke kawasan yang sesuai dengan daya dukung lingkungan dan ketersediaan infrastruktur (Batty, 2008; Brotchie et al., 1995).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis morfologi perkotaan melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh, khususnya menggunakan data *Nighttime Light* (NTL) sebagai indikator aktivitas dan intensitas perkembangan kawasan terbangun. Data NTL dipilih karena kemampuannya merepresentasikan pola spasial urbanisasi, tingkat konsentrasi aktivitas ekonomi, serta struktur keruangan wilayah perkotaan dan peri-urban secara temporal (Elvidge et al., 2017). Identifikasi morfologi perkotaan dilakukan dengan pendekatan analisis multitemporal sehingga perbandingan dinamika perubahan morfologi kota dari waktu ke waktu dapat dilakukan secara terukur. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah analisis data sekunder berbasis citra satelit.

Metode analisis yang diterapkan adalah pendekatan *clockboard zones* untuk mengolah data *Nighttime Light* (NTL). Metode *clockboard zones* merupakan teknik analisis spasial perkotaan yang membagi wilayah kajian ke dalam zona-zona radial dan sektoral dengan menjadikan pusat kota sebagai titik acuan (Galster et al., 2001). Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi variasi intensitas aktivitas perkotaan berdasarkan jarak dari pusat serta arah perkembangan wilayah secara sektoral. Dalam penelitian ini, pembagian *clockboard* terdiri atas enam lingkaran konsentris dan dua puluh empat segmen sektoral, yang memungkinkan analisis morfologi perkotaan dilakukan secara sistematis dan terukur berdasarkan pola distribusi intensitas cahaya malam hari.

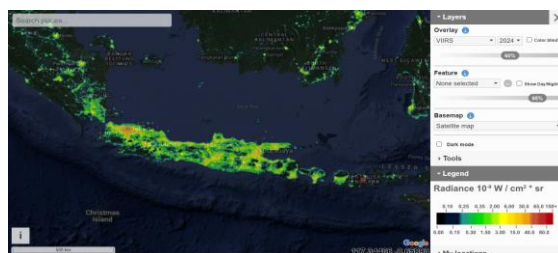


Gambar 2. Pembagian Clockboard.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

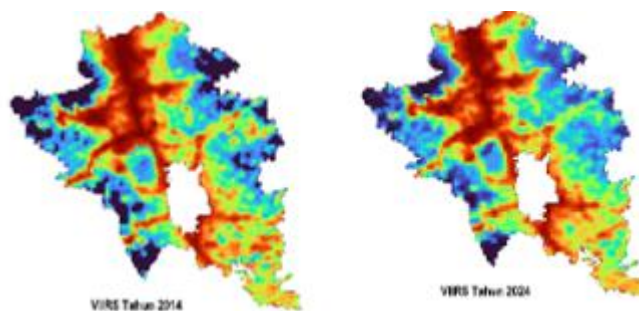
Tahapan penelitian diawali dengan pengambilan data *Nighttime Light* (NTL) yang bersumber dari sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) yang tersedia secara terbuka. Data NTL diperoleh melalui platform *Light Pollution Map* sebagai sumber utama, serta dapat diakses melalui platform alternatif seperti *Google Earth Engine* untuk mendukung proses akuisisi dan pengolahan data (Elvidge et al., 2017).



Gambar 3. Tampilan Pengambilan Data NTL.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

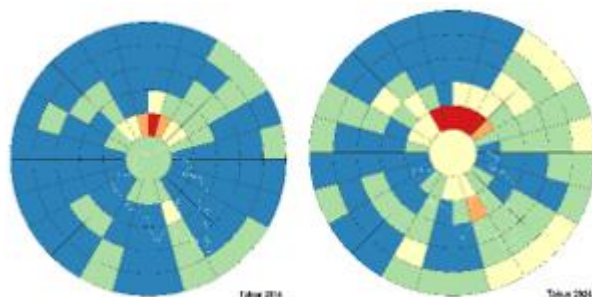
Pengambilan data NTL dilakukan pada dua periode waktu, yaitu tahun 2014 dan 2024. Selanjutnya, data NTL diolah melalui tahapan pemotongan (*clipping*) dengan menyesuaikan batas wilayah penelitian. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dianalisis hanya mencakup area kajian yang telah ditentukan. Gambar 4 menampilkan hasil visualisasi data NTL yang telah dipotong sesuai dengan lokasi penelitian pada masing-masing tahun pengamatan.



Gambar 4. Data VIIRS Raster.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

Perubahan intensitas cahaya malam di Kabupaten Semarang pada periode 2014 hingga 2024 ditunjukkan pada Gambar 5. Secara umum, peningkatan intensitas cahaya yang paling menonjol teridentifikasi pada bagian utara dan barat wilayah kajian, yang mencerminkan tingginya tingkat aktivitas perkotaan dan eskalasi polusi cahaya pada kawasan tersebut. Data NTL yang telah diolah kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *clockboard zones* dengan menerapkan analisis statistik zonal (*zonal statistics*) untuk mengidentifikasi variasi intensitas cahaya pada masing-masing zona secara kuantitatif (Liu et al., 2012).



Gambar 5. Hasil Pengolahan CBZ.

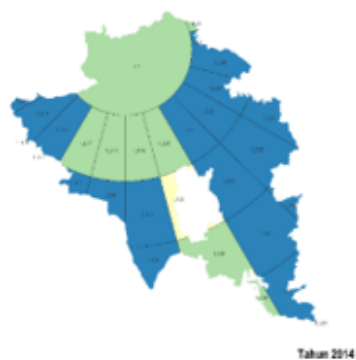
Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

Analisis *zonal statistics* dilakukan untuk menghitung nilai intensitas cahaya pada setiap unit wilayah hasil pembagian *clockboard zones*. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah nilai rata-rata intensitas cahaya NTL pada masing-masing segmen dan lingkaran zona. Proses pengolahan data diterapkan pada setiap tahun pengamatan sehingga memungkinkan perbandingan temporal antarperiode.

Hasil visualisasi pada Gambar 5 menunjukkan bahwa morfologi perkotaan Kabupaten Semarang cenderung membentuk pola polisentris dengan kecenderungan sektoral-linier. Hal ini mengindikasikan bahwa perkembangan wilayah tidak memusat pada satu inti tunggal, melainkan tersebar pada beberapa pusat aktivitas yang mengikuti koridor transportasi serta fungsi kawasan tertentu, sebagaimana dideskripsikan dalam model multi-inti Harris dan Ullman (Pacione, 2005). Pola perkembangan wilayah Kabupaten Semarang memperlihatkan karakter ketidakterpusatan sejak periode awal pengamatan.

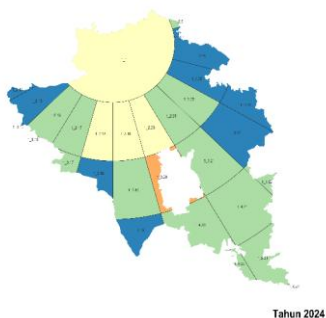
Pada tahun 2014, zona 1 sebagai inti kota menunjukkan intensitas cahaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan zona lainnya, namun pengaruhnya belum menyebar secara merata ke zona-zona luar. Selain itu, pada zona 2 segmen 17 hingga 20 teridentifikasi intensitas yang cukup tinggi, sementara pada zona 3 terdapat satu segmen dengan nilai radiansi yang menonjol, yaitu segmen 20, yang mengindikasikan keberadaan pusat aktivitas sekunder di wilayah tersebut.

Pada tahun 2024, terjadi peningkatan intensitas cahaya pada sejumlah segmen, terutama mengarah ke selatan, tenggara, dan barat daya. Pola peningkatan ini tidak membentuk lingkaran konsentris yang simetris, melainkan menunjukkan kecenderungan memanjang mengikuti arah koridor transportasi serta munculnya pusat-pusat kegiatan baru. Perbandingan antarwaktu mengungkapkan bahwa pertumbuhan wilayah bersifat selektif dan sektoral, dipengaruhi oleh keberadaan jaringan jalan utama, perkembangan kawasan industri dan permukiman baru, serta kondisi topografi perbukitan di sebagian wilayah (Zhao et al., 2019). Dengan demikian, struktur perkembangan wilayah Kabupaten Semarang dapat diinterpretasikan sebagai pertumbuhan berbasis multi-pusat yang berkembang mengikuti arah tertentu dan diperkuat oleh keterkaitan antara infrastruktur transportasi dan fungsi ekonomi kawasan.



Gambar 6. Hasil Pengolahan CBZ Kabupaten Semarang Tahun 2014.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.



Gambar 7. Hasil Pengolahan CBZ Kabupaten Semarang Tahun 2024.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

Data hasil analisis *zonal statistics* pada pembagian *clockboard zones* selanjutnya dipotong (*clipping*) dengan menyesuaikan batas administrasi Kabupaten Semarang, kemudian dilakukan pemberian kode dan penamaan zona untuk memudahkan proses identifikasi serta interpretasi analisis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Informasi mengenai nilai rata-rata intensitas cahaya pada masing-masing zona disajikan secara rinci pada Tabel 1 sebagai dasar perbandingan antarwilayah dan antarperiode pengamatan.

Tabel 1. Rata-Rata Intensitas Cahaya NTL Tiap Zona.

Zona	2014	2024
1_1	3.47	6.12
1_2.1	0.67	1.25
1_2.2	1.61	3.28
1_2.14	0.13	0.41
1_2.15	0.29	0.63
1_2.16	0.80	1.64
1_2.17	1.75	2.59
1_2.18	2.23	3.71
1_2.19	2.78	4.82
1_2.20	2.45	4.33
1_2.21	1.10	2.04
1_2.22	0.94	1.79
1_2.23	0.41	1.03
1_2.24	0.18	0.69
1_3.15	0.83	1.21
1_3.16	0.61	0.82
1_3.17	1.27	1.91
1_3.18	0.47	0.92
1_3.19	0.87	1.68
1_3.20	5.16	9.00
1_3.21	1.18	2.43
1_3.22	0.69	1.06
1_3.23	0.41	0.83
1_4.19	0.28	0.58
1_4.20	1.75	3.54
1_4.21	1.16	2.44
1_4.22	0.71	1.65
1_5.20	1.70	3.52
1_5.21	1.19	2.38
1_6.21	3.22	6.71

Sumber: Hasil Analisis, 2026.

Penyajian tabel dilakukan dengan menggunakan gradasi warna dari hijau hingga merah untuk merepresentasikan tingkat intensitas NTL, di mana warna merah menunjukkan kategori NTL rendah dan warna hijau menunjukkan kategori NTL tinggi. Semakin pekat warna hijau yang ditampilkan, semakin besar nilai intensitas cahaya malam pada zona tersebut. Zona dengan nilai NTL tinggi mengindikasikan tingkat polusi cahaya yang lebih besar, sekaligus mencerminkan peningkatan aktivitas dan perkembangan kawasan dari waktu ke waktu.

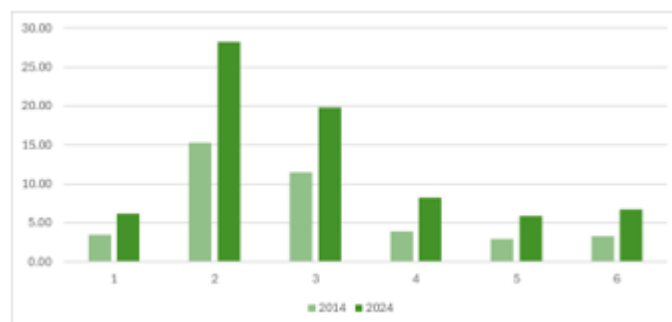
Sebagai contoh, pada zona 1_3.20 tercatat nilai NTL sebesar 5,16 pada tahun 2014 yang kemudian meningkat menjadi 9,00 pada tahun 2024, sehingga zona tersebut mengalami kenaikan intensitas cahaya yang signifikan dan termasuk dalam kategori wilayah dengan tingkat NTL tertinggi.

Tabel 2. Jumlah Intensitas Cahaya NTL Tiap *Ring Clock Board*.

Ring	2014	2024
1	3.47	6.12
2	15.33	28.22
3	11.49	19.85
4	3.89	8.21
5	2.89	5.90
6	3.22	6.71

Sumber: Hasil Analisis, 2026.

Ring *clockboard* 2, 3, 4, 5, dan 6 masing-masing terbagi ke dalam 24 segmen sektoral. Nilai intensitas NTL pada setiap segmen diakumulasikan pada masing-masing ring sehingga menghasilkan rekapitulasi nilai sebagaimana tersaji pada Tabel 2. Penjumlahan ini bertujuan untuk mengidentifikasi fluktuasi perubahan intensitas cahaya pada tiap lingkaran zona, sehingga dinamika perkembangan aktivitas perkotaan antar-ring dan antarperiode waktu dapat diamati secara lebih komprehensif (Small et al., 2005).

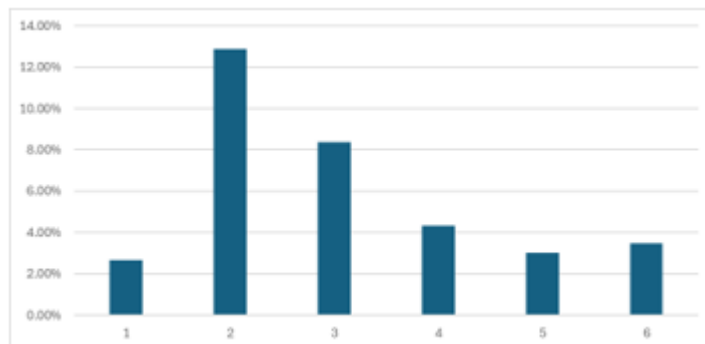


Gambar 8. Tabel Perbandingan CBZ.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

Lokasi dengan intensitas cahaya tertinggi teridentifikasi pada ring *clockboard* 2 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8, diikuti oleh ring 3 dan ring 4. Kondisi ini mengindikasikan bahwa morfologi wilayah Kabupaten Semarang memiliki kecenderungan konsentrasi aktivitas yang lebih besar pada zona transisi dan wilayah pinggiran dibandingkan dengan inti kota. Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 2, pertumbuhan intensitas cahaya antar-ring memperlihatkan variasi yang cukup signifikan. Ring 1 hanya mengalami peningkatan sebesar 2,65%, sedangkan ring 2 menunjukkan kenaikan yang jauh lebih tinggi hingga 12,88%. Fenomena ini mengindikasikan adanya pergeseran pusat aktivitas dan kecenderungan perpindahan penduduk maupun kegiatan dari pusat kota menuju kawasan pinggiran (Seto et al., 2011). Persentase perubahan tersebut juga mencerminkan indikasi kejenuhan aktivitas pada zona inti (ring 1) yang mulai meluas ke ring 2 dan ring 3.

Sementara itu, ring 4, 5, dan 6 turut menunjukkan peningkatan intensitas yang relatif lebih besar dibandingkan ring 1. Temuan ini mengarah pada indikasi terjadinya fenomena *urban sprawl* di Kabupaten Semarang, yang ditandai oleh ekspansi aktivitas perkotaan secara tersebar dan tidak lagi terfokus pada satu pusat utama (Angel et al., 2011).



Gambar 9. Diagram Perubahan Lokasi.

Sumber: Hasil Pengolahan, 2026.

Berdasarkan diagram pada Gambar 9, zona yang menunjukkan perubahan paling signifikan berada pada zona 2 dan zona 3. Kondisi tersebut dapat diinterpretasikan sebagai indikasi kejenuhan fungsi dan kapasitas hunian di pusat kota, sehingga terjadi kecenderungan perpindahan aktivitas maupun permukiman menuju wilayah pinggiran. Fenomena ini menunjukkan bahwa perkembangan kawasan lebih banyak berlangsung secara horizontal ke arah luar kota dibandingkan pembangunan vertikal di area inti. Hal ini mencerminkan pergeseran pola pertumbuhan perkotaan menuju ekspansi spasial di zona transisi dan peri-urban, yang konsisten dengan temuan berbagai penelitian tentang dinamika urbanisasi di kota-kota berkembang di Indonesia (Sutomo et al., 2021; Widodo et al., 2022).

5. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pertama, morfologi perkotaan Kabupaten Semarang dalam rentang 2014–2024 menunjukkan pola perkembangan yang bersifat polisentris dan sektoral-linier, di mana pertumbuhan kawasan terbangun tidak memusat pada satu inti kota, melainkan tersebar pada beberapa titik aktivitas sekunder yang mengikuti arah koridor transportasi utama. Temuan ini sejalan dengan model multi-inti yang dikemukakan oleh Harris dan Ullman, sekaligus mengonfirmasi relevansinya dalam konteks perkembangan wilayah kabupaten di Indonesia. Kedua, analisis data NTL menggunakan metode *clockboard zones* mengungkapkan bahwa ring 2 dan ring 3 mengalami peningkatan intensitas cahaya yang paling signifikan selama periode pengamatan.

Ring 2 mencatat kenaikan hingga 12,88%, sementara ring 1 sebagai inti kota hanya tumbuh sebesar 2,65%. Perbedaan laju pertumbuhan ini mengindikasikan telah terjadi kejenuhan aktivitas di kawasan inti dan pergeseran pusat-pusat kegiatan menuju wilayah transisi dan peri-urban.

Ketiga, pola ekspansi spasial yang teridentifikasi mengindikasikan gejala *urban sprawl* di Kabupaten Semarang, yang dicirikan oleh pertumbuhan kawasan terbangun secara horizontal ke arah pinggiran tanpa pola konsentris yang teratur. Kondisi ini dipengaruhi oleh ketersediaan jaringan jalan utama, perkembangan kawasan industri dan permukiman baru, serta kendala topografis berupa perbukitan yang membatasi arah ekspansi tertentu.

Keempat, pemanfaatan data NTL dari sensor VIIRS terbukti efektif sebagai instrumen analisis morfologi perkotaan secara temporal dan spasial. Integrasi antara data NTL dan metode *clockboard zones* menghasilkan gambaran kuantitatif yang komprehensif mengenai dinamika perkembangan wilayah Kabupaten Semarang dan dapat dijadikan referensi metodologis bagi penelitian serupa di wilayah lain.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa saran disampaikan kepada pemangku kepentingan dan peneliti selanjutnya. Pertama, bagi pemerintah Kabupaten Semarang, temuan mengenai pola *urban sprawl* dan konsentrasi pertumbuhan di ring 2 dan ring 3 perlu menjadi pertimbangan serius dalam penyusunan dan revisi Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Arah pertumbuhan yang teridentifikasi ke selatan, tenggara, dan barat daya hendaknya direspons dengan penyiapan infrastruktur yang memadai serta penetapan zona-zona pertumbuhan yang terarah dan berkelanjutan. Kedua, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melengkapi analisis data NTL dengan data penginderaan jauh lainnya seperti data *Land Surface Temperature* (LST), NDVI, atau citra resolusi tinggi untuk mendapatkan gambaran morfologi perkotaan yang lebih komprehensif.

Selain itu, analisis dapat diperluas dengan mengintegrasikan data sosial-ekonomi dan demografi untuk memahami faktor-faktor pendorong perubahan morfologi kota secara lebih holistik. Ketiga, pengembangan metodologi analisis perlu ditingkatkan dengan menggunakan pendekatan *machine learning* atau model prediktif untuk memproyeksikan perkembangan morfologi perkotaan Kabupaten Semarang pada masa mendatang, sehingga dapat digunakan sebagai dasar perencanaan yang bersifat antisipatif dan adaptif terhadap perubahan dinamika wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A., & Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Progress in Planning*, 75(2), 53–107. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2011.04.001>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang. (2023). Kabupaten Semarang dalam Angka 2023. BPS Kabupaten Semarang.
- Batty, M. (2008). The size, scale, and shape of cities. *Science*, 319(5864), 769–771. <https://doi.org/10.1126/science.1151419>
- Brotchie, J., Batty, M., Blakely, E., Hall, P., & Newton, P. (Eds.). (1995). *Cities in Competition: Productive and Sustainable Cities for the 21st Century*. Longman Australia.
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., & Davis, E. R. (1997). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(6), 727–734.
- Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2013). Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights. *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, 35, 62–69. <https://doi.org/10.7125/APAN.35.7>
- Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Ghosh, T., Hsu, F. C., & Taneja, J. (2017). Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019. *Remote Sensing*, 13(5), 922. <https://doi.org/10.3390/rs13050922>
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. *Housing Policy Debate*, 12(4), 681–717. <https://doi.org/10.1080/10511482.2001.9521426>
- Henderson, J. V., Storeygard, A., & Weil, D. N. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American Economic Review*, 102(2), 994–1028. <https://doi.org/10.1257/aer.102.2.994>
- Imhoff, M. L., Lawrence, W. T., Stutzer, D. C., & Elvidge, C. D. (1997). A technique for using composite DMSP/OLS 'city lights' satellite data to map urban area. *Remote Sensing of Environment*, 61(3), 361–370. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00046-1)
- Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q., & Yang, Y. (2012). Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning*, 106(1), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.013>
- Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban Morphology*, 1(1), 3–10.
- Pacione, M. (2005). *Urban Geography: A Global Perspective* (2nd ed.). Routledge.
- Schwanen, T., Dieleman, F. M., & Dijst, M. (2004). The impact of metropolitan structure on commute behavior in the Netherlands: A multilevel approach. *Growth and Change*, 35(3), 304–333. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.2004.00251.x>
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A meta-analysis of global urban land expansion. *PLOS ONE*, 6(8), e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>

- Small, C., Pozzi, F., & Elvidge, C. D. (2005). Spatial analysis of global urban extent from DMSP-OLS night lights. *Remote Sensing of Environment*, 96(3–4), 277–291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.002>
- Sutomo, H., Darmawan, A., & Prasetyo, L. B. (2021). Pemanfaatan data Nighttime Light untuk analisis pola urbanisasi di Pulau Jawa tahun 2000–2020. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 18(2), 45–58.
- Whitehand, J. W. R. (1981). *The Urban Landscape: Historical Development and Management*. Academic Press.
- Widodo, B., Nugroho, S., & Hartono. (2022). Analisis spasial perkembangan perkotaan menggunakan data VIIRS-DNB di kawasan metropolitan Semarang. *Majalah Geografi Indonesia*, 36(1), 22–35. <https://doi.org/10.22146/mgi.67234>
- Zhao, N., Liu, Y., Cao, G., Samson, E. L., & Zhang, J. (2019). Forecasting China's GDP at the pixel level using nighttime lights time series and population images. *GIScience & Remote Sensing*, 54(3), 407–425. <https://doi.org/10.1080/15481603.2016.1276705>