

Monitoring Perluasan Perkotaan di Kalimantan Barat Berbasis Google Earth Engine: Implikasi bagi Perencanaan Tata Ruang

Google Earth Engine-Based Urban Expansion Monitoring in West Kalimantan: Implications for Spatial Planning

Agustiah Wulandari^{1*} & Yudi Purnomo²

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Tanjungpura, Jalan Jenderal Ahmad Yani, Kota Pontianak, 78124, Indonesia; ²Arsitektur, Universitas Tanjungpura, Jalan Jenderal Ahmad Yani, Kota Pontianak, 78124, Indonesia; *Penulis korespondensi. e-mail: agustiahwulandari@teknik.untan.ac.id
(Diterima: 18 Oktober 2025; Perbaikan: 7 Juli 2026; Disetujui: 28 Juli 2026)

ABSTRACT

This study aims to monitor and analyze the spatio-temporal dynamics of urban sprawl in West Kalimantan Province for the period 2019–2025 using a remote sensing approach based on Google Earth Engine. The land cover classification method uses a Random Forest algorithm. The spectral indices NDBI, NDVI, and MNDWI are used as variables to identify built-up areas, vegetation, and water bodies. The classification results were then analyzed spatially using ROSE diagrams to assess the direction, intensity, and pattern of built-up area growth. The results indicate that the development pattern of built-up land in West Kalimantan is directional and consistent across years, dominated by growth in the west and northwest sectors as the agglomeration core, accompanied by strengthening secondary expansion toward the south and southeast since 2022. The S–SE direction experienced a significant increase during 2022–2023, while the west sector shows internal infill and reurbanization patterns in the metropolitan center. The north, east, and northeast sectors are relatively stable with limited extent. This pattern indicates a duality of urban growth processes, namely densification in the metropolitan core and edge expansion toward peri-urban areas in the S–SE, which overall reflects corridor-based gradual spatial transformation. The implications for spatial planning policy emphasize the importance of controlling land conversion in the south–southeast sectors, strengthening densification strategies in core areas, and integrating Google Earth Engine–based monitoring systems into periodic evaluations of the West Kalimantan Provincial Spatial Plan.

Keywords: Google Earth Engine, random forest, ROSE diagram, Urban Sprawl, West Kalimantan.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memantau dan menganalisis dinamika spasio-temporal perkembangan perkotaan di Provinsi Kalimantan Barat selama periode 2019–2025 dengan menggunakan pendekatan penginderaan jauh berbasis Google Earth Engine (GEE). Metode klasifikasi tutupan lahan menggunakan algoritma Random Forest. Indeks spektral NDBI, NDVI, dan MNDWI digunakan sebagai variabel untuk mengidentifikasi area terbangun, vegetasi, dan badan air. Hasil klasifikasi kemudian dianalisis secara spasial menggunakan diagram ROSE untuk menilai arah, intensitas, dan pola pertumbuhan kawasan terbangun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola perkembangan lahan terbangun di Kalimantan Barat bersifat terarah dan konsisten antartahun, dengan dominasi pertumbuhan pada sektor barat (W) dan barat laut (NW) sebagai inti aglomerasi, disertai ekspansi sekunder yang menguat ke arah Selatan (S) dan Tenggara (SE) sejak tahun 2022.

Arah S–SE mengalami peningkatan signifikan pada periode 2022–2023, sedangkan sektor barat (W) menunjukkan pola pemadatan internal (infill) dan reurbanisasi pada pusat metropolitan. Sektor utara (N), timur (E), dan timur laut (NE) relatif stabil dengan luasan terbatas. Pola ini mengindikasikan dualitas proses pertumbuhan perkotaan, yaitu pemadatan di inti metropolitan (W–NW) dan ekspansi tepi (S–SE) menuju wilayah peri-urban, yang secara keseluruhan mencerminkan transformasi spasial bertahap berbasis koridor transportasi. Implikasinya terhadap kebijakan tata ruang menegaskan pentingnya pengendalian konversi lahan di sektor selatan–tenggara, penguatan strategi densifikasi di kawasan inti, serta integrasi sistem pemantauan berbasis GEE dalam evaluasi periodik RTRW Provinsi Kalimantan Barat.

Kata kunci: diagram ROSE, *Google Earth Engine*, perluasan perkotaan, random forest, Kalimantan Barat

PENDAHULUAN

Perkembangan kawasan perkotaan di Indonesia menunjukkan kecenderungan yang semakin kompleks, ditandai oleh perluasan wilayah urban yang sering kali melampaui batas perencanaan formal. Fenomena ini dikenal sebagai *urban sprawl*, yaitu proses ekspansi kawasan perkotaan yang tidak terkendali, tersebar, dan cenderung mengabaikan prinsip efisiensi ruang serta keberlanjutan lingkungan. *Urban sprawl* atau perluasan wilayah perkotaan secara tidak terkendali merupakan fenomena yang semakin menonjol di berbagai wilayah Indonesia, termasuk Kalimantan Barat. *Sprawl* terjadi akibat pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan peningkatan aktivitas ekonomi yang mendorong konversi lahan secara masif dari kawasan alami atau pertanian menjadi kawasan terbangun (Siregar *et al.*, 2018).

Di Provinsi Kalimantan Barat, urban *sprawl* menjadi isu strategis yang perlu mendapat perhatian, mengingat wilayah ini mengalami pertumbuhan penduduk, pembangunan infrastruktur, dan konversi lahan yang cukup signifikan dalam satu dekade terakhir. Dinamika *sprawl* di Kalimantan Barat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara faktor ekonomi, sosial, dan lingkungan. Ekspansi perkebunan kelapa sawit secara besar-besaran menjadi pendorong utama perubahan penggunaan lahan, yang tidak hanya menggeser fungsi lahan pertanian seperti sawah, tetapi juga memicu persaingan penggunaan lahan yang semakin intensif (Hidayah *et al.*, 2022).

Urban sprawl berdampak langsung terhadap perubahan tata guna lahan, fragmentasi

ekosistem, peningkatan kebutuhan layanan publik, serta tekanan terhadap wilayah perdesaan di sekitarnya. Oleh karena itu, pemantauan yang akurat dan berkelanjutan terhadap dinamika *sprawl* perkotaan menjadi kebutuhan mendesak dalam mendukung perencanaan wilayah yang adaptif dan berbasis bukti.

Perluasan wilayah perkotaan dan perubahan penggunaan lahan merupakan fenomena signifikan yang berdampak pada lingkungan dan masyarakat di Kalimantan Barat, Indonesia. Pemetaan dan prediksi perluasan wilayah perkotaan sangat penting untuk perencanaan dan pengelolaan perkotaan yang berkelanjutan, terutama di wilayah yang berkembang pesat seperti Kalimantan Barat. Penggunaan teknologi seperti *Google Earth Engine* (GEE) menawarkan potensi yang signifikan dalam domain ini karena kemampuan pemrosesan geospasialnya yang kuat dan akses ke kumpulan data citra satelit yang luas.

Pada konteks penelitian ini, *Google Earth Engine* (GEE) menjadi platform utama dalam analisis *spatio-temporal urban sprawl* dan perubahan penggunaan lahan (Gorelick *et al.*, 2017). Dengan GEE, data satelit seperti Landsat 8 dan Sentinel-2 dapat diolah untuk mendeteksi perubahan wilayah terbangun menggunakan NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*). Hal ini memungkinkan analisis proses urbanisasi dalam skala besar dan temporal, menyediakan peta berkualitas tinggi dari wilayah terbangun dari waktu ke waktu (Goldblatt *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2021). Kemampuan untuk memproses data dalam jumlah besar secara efisien membuatnya ideal

untuk memantau perluasan wilayah perkotaan yang dinamis (Zarro *et al.*, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk memantau dan menganalisis *dinamika sprawl* perkotaan di Provinsi Kalimantan Barat dengan pendekatan berbasis GEE, serta mengevaluasi implikasinya terhadap kebijakan tata ruang wilayah. Hasil kajian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap penguatan perencanaan pembangunan wilayah yang berkelanjutan, integratif, dan responsif terhadap dinamika spasial yang terjadi.

Secara keseluruhan, dinamika *sprawl* di Kalimantan Barat mencerminkan proses urbanisasi dan transformasi ekonomi yang pesat, namun juga menimbulkan tantangan serius terkait keberlanjutan lingkungan, ketahanan pangan, dan keadilan sosial (Hidayah *et al.*, 2022). Penelitian mengenai *urban sprawl* dan perubahan penggunaan lahan di Kalimantan Barat masih terbatas dibandingkan dengan kajian di wilayah metropolitan seperti Jabodetabek dan Surabaya (Fitriani *et al.*, 2018; Setyawati *et al.*, 2022). Santoso *et al.*, (2026) meneliti pola perkembangan keruangan dan perubahan tutupan lahan yang masif akibat aktivitas industri Di luar pulau Jawa, kajian mengenai *sprawl* dan perubahan lahan umumnya masih terpusat pada kawasan perkotaan dengan pertumbuhan tinggi. Di Makasar Surya *et al.* (2020) menganalisis transpirasi spasial dan perubahan lahan pertanian menjadi kawasan permukiman dan komersial skala besar di kota baru Metro Tanjung Bunga. Lebih lanjut (Heldayani & Bachri, 2026) meneliti evolusi *urban sprawl* akibat laju urbanisasi selama dua dekade di Palembang, dengan menyoroti bentuk transformasi dari pola radial-sentrifugal menjadi model polisentris yang tidak simetris akibat hambatan geografis sungai. Dominasi lokus penelitian pada kawasan-kawasan metropolitan utama tersebut menunjukkan bahwa fokus masih bertumpu pada wilayah dengan infrastruktur yang padat dan aglomerasi ekonomi yang kuat (Heldayani & Bachri, 2026; Santoso *et al.*, 2026). Oleh karena itu, kajian mengenai perluasan kota di Kalimantan Barat

menjadi sangat relevan dan penting untuk melengkapi pemahaman mengenai tipologi alih fungsi lahan yang memiliki karakteristik geografi serta laju perkembangan yang berbeda dari kota-kota metropolitan tersebut. Urbanisasi yang pesat di daerah dapat berdampak signifikan terhadap ekologi, tata ruang kota, dan pola sosial-ekonomi masyarakat (Carlson *et al.*, 2012; Yuliani *et al.*, 2018). Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan penginderaan jauh dan GIS telah menjadi metode utama dalam menganalisis perubahan penggunaan lahan, dengan teknik seperti analisis indeks geospasial (NDBI, NDVI, MNDWI), klasifikasi citra satelit multi-temporal, dan pemodelan prediktif menggunakan CA-Markov, Random Forest, serta SVM (Baqi *et al.*, 2021; Carlson *et al.*, 2012; Siregar *et al.*, 2018; Verstegen *et al.*, 2019). Meskipun metode ini telah digunakan untuk memahami ekspansi perkotaan, kajian berbasis *Google Earth Engine* (GEE) di Indonesia masih sangat terbatas, terutama dalam konteks Kalimantan Barat.

Google Earth Engine (GEE) menawarkan keunggulan dalam pemrosesan data satelit secara efisien, memungkinkan analisis spasio-temporal dengan akses ke dataset besar seperti Landsat, Sentinel, dan MODIS (Gong *et al.*, 2013). Beberapa studi telah menunjukkan penerapan GEE dalam penelitian urbanisasi, seperti pemodelan perubahan lahan di Karachi, Pakistan menggunakan CA-Markov, serta analisis spasio-temporal di Sungai Yangtze dengan integrasi data OpenStreetMap dan GEE (Liu *et al.*, 2020). Selain itu, pendekatan machine learning berbasis CNN-LSTM telah digunakan untuk memprediksi pola ekspansi perkotaan dengan presisi yang lebih tinggi (Boulila *et al.*, 2021).

Meskipun penelitian *urban sprawl* telah berkembang pesat, masih terdapat beberapa kesenjangan ilmiah dalam kajian ini, terutama di Indonesia. Minimnya studi berbasis GEE di Kalimantan Barat, kurangnya pendekatan indeks multi-temporal, serta terbatasnya penelitian yang menghubungkan urbanisasi dengan dampak ekologis, seperti peningkatan suhu permukaan dan perubahan badan air,

menjadi tantangan yang perlu diatasi (Siregar *et al.*, 2018; Syaban & Appiah-Opoku, 2024; Verstegen *et al.*, 2019; Yuliani *et al.*, 2018).

Dampak *sprawl* tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan, tetapi juga mempengaruhi kualitas hidup masyarakat. Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali dapat menyebabkan fragmentasi habitat, penurunan keanekaragaman hayati, serta meningkatkan risiko bencana seperti banjir dan tanah longsor (Spencer *et al.*, 2023). Pengalaman di wilayah lain di Indonesia, seperti Makassar, memperlihatkan bahwa urban *sprawl* berkorelasi kuat dengan penurunan kualitas lingkungan di kawasan pinggiran kota. Faktor-faktor seperti perubahan penggunaan lahan, aglomerasi perkotaan, dan sistem transportasi berkontribusi terhadap degradasi lingkungan, yang juga relevan untuk konteks Kalimantan Barat (Surya *et al.*, 2021).

Penanganan *sprawl* memerlukan kebijakan tata ruang yang tegas, pengendalian konversi lahan, serta integrasi antara pembangunan ekonomi dan konservasi lingkungan. Intervensi seperti pembatasan ekspansi perkebunan dan peningkatan laju reforestasi menjadi kunci untuk menyeimbangkan kebutuhan pembangunan dan pelestarian lingkungan (Siregar *et al.*, 2018).

Secara keseluruhan, dinamika *sprawl* di Kalimantan Barat mencerminkan tantangan besar dalam mengelola pertumbuhan wilayah secara berkelanjutan. Diperlukan sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk memastikan bahwa pembangunan ekonomi tidak mengorbankan kelestarian lingkungan dan kesejahteraan sosial jangka panjang (Siregar *et al.*, 2018; Spencer *et al.*, 2023).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif spasial berbasis penginderaan jauh dan komputasi awan untuk memantau dan menganalisis *urban sprawl* di Provinsi Kalimantan Barat pada periode 2019–2025. Area studi (AOI) ditentukan dari koleksi FAO/GAUL level-1 yang difilter untuk

Indonesia dan Provinsi Kalimantan Barat. Analisis dijalankan untuk tahun 2019–2025 secara tahunan. Data utama yang digunakan adalah citra Sentinel-2 multi-temporal tahun 2019–2025, untuk interpretasi visual.

Seluruh pra-pemrosesan dan analisis dijalankan di *Google Earth Engine* (GEE). Untuk setiap tahun dilakukan *filtering temporal* dan spasial sesuai AOI, masking awan dan bayangan. Klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma *Random Forest* untuk menghasilkan peta tutupan lahan tahunan (*built-up map*). Akurasi klasifikasi setiap tahun dievaluasi menggunakan pendekatan pembagian data latih-uji (*hold-out*) dengan proporsi 70:30, kemudian dianalisis melalui *confusion matrix* untuk menghasilkan matriks akurasi. Sampel referensi diperoleh melalui teknik *stratified random sampling*, dengan proporsi setiap kelas disesuaikan untuk setiap kelas tutupan lahan, sebanyak 80 titik untuk masing-masing kelas non terbangun, terbangun, dan badan air pada tiap tahun. Penentuan kelas pada setiap titik sampel dilakukan berdasarkan nilai ambang batas indeks spektral NDVI, NDBI, dan MNDWI yang dihitung dari citra komposit Sentinel-2 setiap tahun. Setelah itu dilakukan analisis spatio-temporal untuk mendeteksi tren dan pola *urban sprawl* serta interpretasi hasil dalam konteks perumusan kebijakan tata ruang wilayah.

Tahapan berikutnya adalah analisis spasial dan temporal yang mencakup penghitungan luas area terbangun/non-terbangun (km²) serta analisis arah ekspansi perkotaan menggunakan diagram ROSE. Diagram rose adalah sebuah metode atau pendekatan visualisasi spasial yang membagi suatu wilayah kajian menjadi delapan sektor arah mata angin yang ditarik dari satu titik pusat acuan (Heldayani & Bachri, 2026). Diagram rose bertujuan untuk menyajikan informasi yang bersifat multidimensional dan distribusional secara efektif (Chi *et al.*, 2022; Heldayani & Bachri, 2026). Pada analisis spasial, metode ini menganalisis dan mengkuantifikasi kecenderungan arah distribusi dari suatu perkembangan lahan atau fenomena spasial

sehingga dapat diketahui arah suatu perkembangan paling dominan yang terjadi menjauhi titik pusatnya (Heldayani & Bachri, 2026).

Pada penelitian ini, analisis arah sebaran spasial menerapkan pendekatan diagram rose yang membagi wilayah kajian di sekitar pusat Kota Pontianak menjadi delapan sektor arah (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) dengan radius 60 km. Setelah itu, dihitung total luas area terbangun pada tiap sektor untuk mengidentifikasi arah dominan pertumbuhan. Analisis dilanjutkan dengan pendekatan ROSE-LET (*Landscape Expansion Type*) untuk mendeteksi tipe ekspansi spasial antartahun meliputi infilling, edge, outlying, dan initial built. Hasil akhir analisis diinterpretasikan sebagai dasar empiris bagi kebijakan pengendalian *urban sprawl* serta rekomendasi penguatan tata ruang yang adaptif terhadap dinamika pertumbuhan perkotaan di Kalimantan Barat selama 2019–2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil evaluasi setiap tahun (2019–2025) menunjukkan *Overall Accuracy* berada pada kisaran 0.974-1.000 dan *Kappa*

Coefficient pada kisaran 0.960-1.000 secara konsisten [Tabel 1]. Nilai *producer's accuracy* dan *user's accuracy* untuk kelas terbangun maupun non-terbangun juga berada pada kisaran tinggi yang sebanding, menunjukkan model cukup konsisten membedakan kedua kelas sesuai kriteria ambang spektral yang digunakan. Namun, karena skema validasi menggunakan populasi referensi yang identik antara data latih dan data uji sehingga nilai akurasi yang tinggi lebih mencerminkan kestabilan model terhadap kriteria klasifikasi berbasis indeks spektral dan bukan akurasi terhadap kondisi di lapangan. Kalimantan Barat memiliki karakteristik lanskap yang khas, yaitu perbedaan yang sangat jelas antara kawasan terbangun dan tutupan lahan alami, seperti: hutan, gambut, dan badan air. Perbedaan yang tajam ini membuat kedua jenis tutupan lahan tersebut relatif mudah dibedakan secara spektral (berdasarkan pantulan cahaya yang tertangkap citra satelit), sehingga turut berkontribusi pada tingginya nilai akurasi dalam skema validasi ini. Sehingga, peta hasil klasifikasi tetap dapat diandalkan sebagai dasar analisis spasio temporal pertumbuhan kota dengan tetap memperhatikan keterbatasan metodologis yang telah disebutkan sebelumnya.

Tabel 1. Hasil evaluasi akurasi klasifikasi built-up Provinsi Kalimantan Barat tahun 2019–2025

Metrik	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
PA Built	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
PA NonBuilt	0.967	1.000	0.967	0.960	1.000	1.000	1.000
PA Water	1.000	1.000	1.000	0.964	1.000	1.000	1.000
UA Built	0.966	1.000	1.000	0.958	1.000	1.000	1.000
UA NonBuilt	1.000	1.000	0.958	0.960	1.000	1.000	1.000
UA Water	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kappa	0.981	1.000	0.981	0.960	1.000	1.000	1.000
Overall Accuracy	0.987	1.000	0.987	0.974	1.000	1.000	1.000

Keterangan:

PA = Producer's Accuracy; UA = User's Accuracy; Built = kelas lahan terbangun; NonBuilt = kelas lahan non-terbangun; Water = kelas badan air.

Sumber: Hasil analisis (2026).

Data latih dan data uji pada skema validasi ini berasal dari populasi referensi yang sama, yaitu piksel yang diberi label berdasarkan ambang indeks NDVI, NDBI, dan MNDWI indeks yang juga menjadi fitur input model. Sehingga, empat dari tujuh tahun pengamatan

(Tahun 2020, 2023, 2024, dan 2025) menunjukkan akurasi sempurna (OA = Kappa = 1.000) di seluruh kelas. Hasil ini disebabkan karena data untuk menguji model berasal dari kriteria yang sama dengan data yang digunakan untuk melatih model, sehingga hasil pengujian

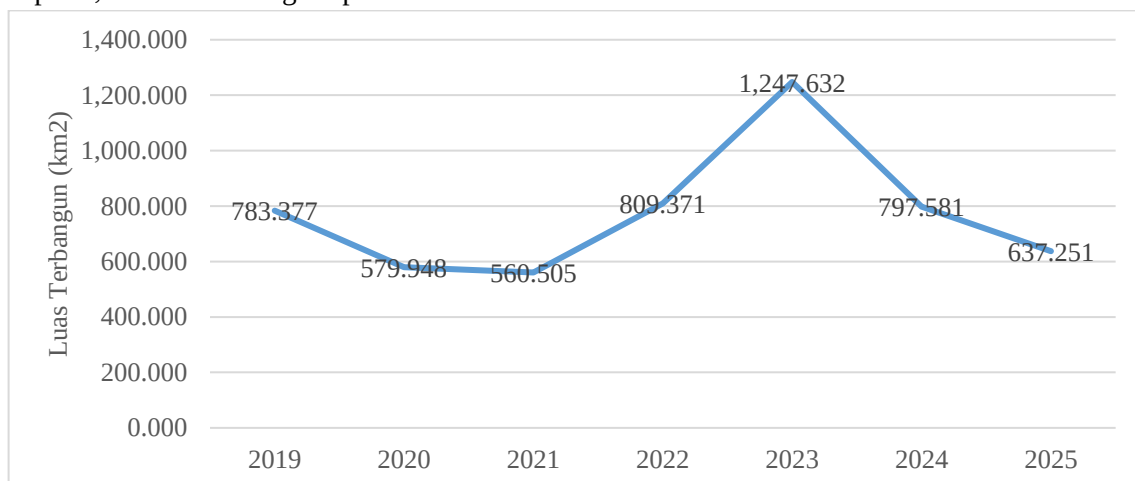
menunjukkan nilai akurasi yang lebih optimis dibandingkan kondisi yang sesungguhnya. Oleh karena itu, nilai akurasi yang tinggi dan konsisten selama tujuh tahun pengamatan dimaknai sebagai indikasi bahwa model secara konsisten mengikuti kriteria ambang indeks spektral yang digunakan dan bukan sebagai validasi terhadap kondisi lapangan. Setelah dilakukan evaluasi terhadap akurasi tahap berikutnya adalah menganalisis Tren Perubahan Lahan Terbangun Provinsi Kalimantan Barat tahun 2019–2025 dan menganalisis arah pertumbuhan lahan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat.

Tren Perubahan Lahan Terbangun Provinsi Kalimantan Barat tahun 2019–2025

Hasil penghitungan luasan lahan terbangun (*built-up area*) menunjukkan bahwa proporsi kawasan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat selama periode 2019–2025 relatif kecil terhadap total luas wilayah, yakni hanya berkisar antara 0.38% hingga 0.85% dari total area provinsi sebesar $\pm 147,231$ km². Persentase ini menggambarkan dominasi bentang alam non-perkotaan seperti hutan, pertanian, dan lahan rawa yang masih sangat luas, serta konsentrasi urbanisasi. Secara temporal, luasan terbangun pada tahun 2019

tercatat sekitar 783 km² (0.53%), kemudian menurun pada 2020 menjadi 579 km² (0.39%) dan relatif stabil pada 2021 sebesar 560 km² (0.38%). Penurunan ini kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi atmosfer dan variasi tutupan vegetasi yang memengaruhi hasil komposit median tahunan Sentinel-2. Sejak 2022, terjadi peningkatan signifikan hingga mencapai 809 km² (0.55%), dan berlanjut menjadi 1,248 km² (0.85%) pada 2023 tahun dengan perluasan tertinggi selama periode pengamatan. Setelah mencapai puncaknya pada 2023, luasan terbangun mengalami penurunan moderat pada 2024 (798 km²; 0.54%) dan 2025 (637 km²; 0.43%).

Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa urbanisasi di Kalimantan Barat masih berada pada tahap inkremental dan terkonsentrasi, tetapi cukup signifikan untuk menandai perubahan morfologi wilayah metropolitan utama. Nilai perkembangan lahan terbangun yang tetap di bawah 1% [Gambar 1] menunjukkan kapasitas ruang yang masih luas untuk pengembangan, namun sekaligus mengingatkan pentingnya pengendalian konversi lahan agar pertumbuhan perkotaan tidak meluas tanpa arah dan mengancam fungsi ekologis provinsi.



Gambar 1. Tren perubahan luas built-up Provinsi Kalimantan Barat 2019–2025

Sumber: Hasil Analisis, 2025

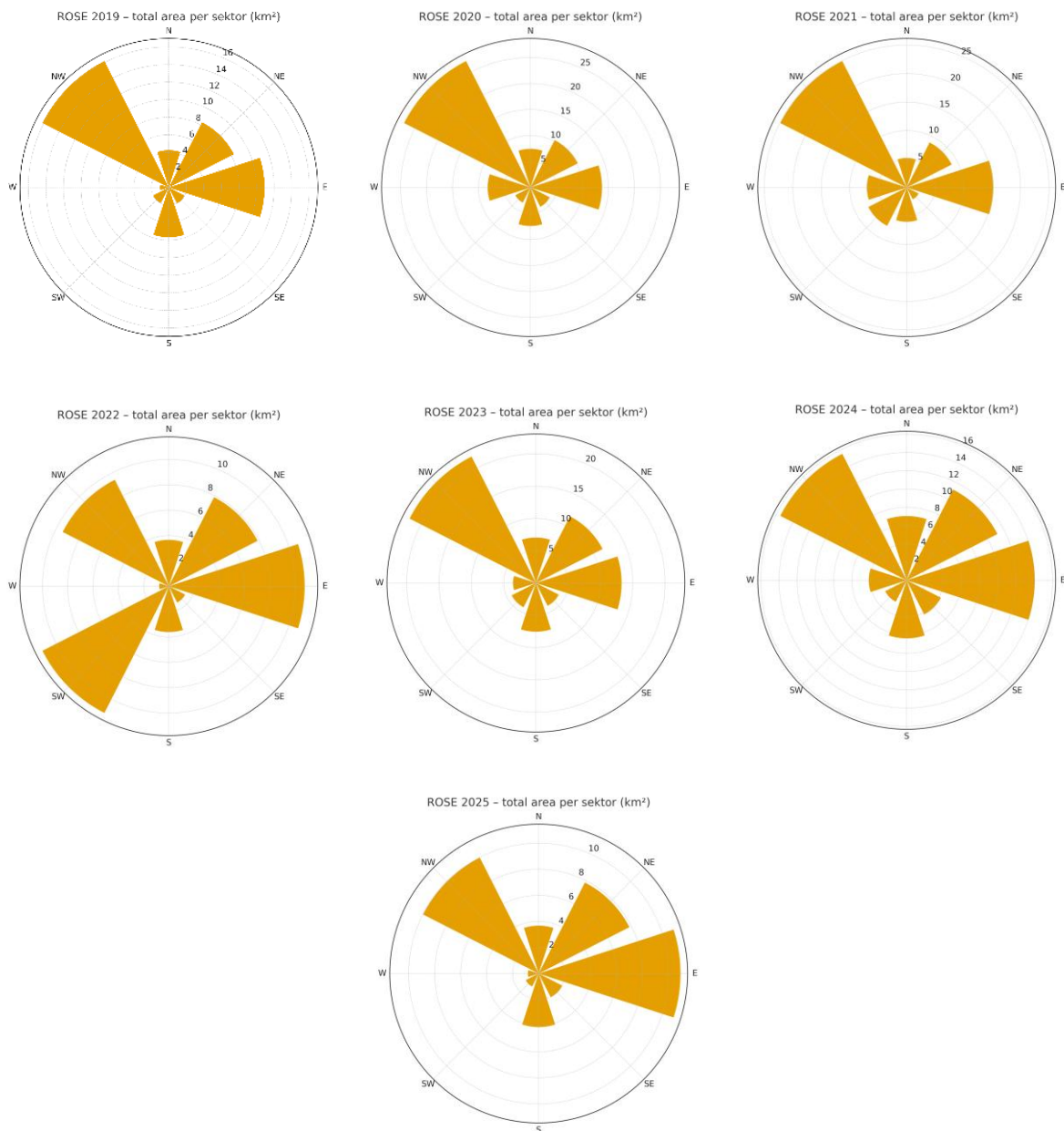
Analisis Arah dan Dinamika Sprawl Perkotaan Kalimantan Barat (2019–2025)

Visualisasi deret waktu melalui diagram ROSE tahunan [Gambar 2] menunjukkan bahwa arah perkembangan lahan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat selama periode 2019–2025 bersifat terarah (*directional*) dan mengikuti struktur spasial eksisting. Pola konsisten memperlihatkan bahwa sektor barat (W) dan barat laut (NW) merupakan sumbu utama perkembangan kawasan terbangun, disusul oleh peningkatan sekunder ke arah selatan (S) dan tenggara (SE). Arah barat menggambarkan kawasan aglomerasi lama yang terkonsentrasi di koridor Pontianak–Mempawah, sedangkan sektor selatan–tenggara menunjukkan ekspansi baru menuju wilayah hinterland Kubu Raya dan Rasau Jaya. Sebaliknya, sektor utara (N) dan timur laut (NE) relatif stabil dengan luasan kecil, menandakan bahwa ekspansi perkotaan di wilayah ini terbatas oleh kondisi ekologis rawa, sempadan sungai, dan minimnya jaringan arteri.

Secara temporal, tren ROSE memperlihatkan pergeseran pusat gravitasi urban yang semakin menonjol ke arah selatan sejak tahun 2022, sejalan dengan intensifikasi pembangunan permukiman, fasilitas pendidikan, dan infrastruktur strategis di kawasan hinterland metropolitan. Pola ini mengindikasikan bahwa *urban sprawl* Kalimantan Barat tidak terjadi secara acak, tetapi mengikuti jaringan transportasi utama dan pola aktivitas ekonomi regional yang telah mapan. Sektor barat memperlihatkan kecenderungan infill dan densifikasi, sementara sektor selatan dan tenggara menampilkan karakter *outward expansion* yang

merepresentasikan fase suburbanisasi baru. Sektor barat daya (SW) menunjukkan fluktuasi pertumbuhan yang tidak kontinyu akibat keterbatasan topografi pesisir dan kawasan tambak, sedangkan sektor timur (E), timur laut (NE), dan barat laut (NW) berperan sebagai zona pengendali ekologis yang menjaga keseimbangan sistem ruang metropolitan. Pada tahun 2024, pola spasial mulai menunjukkan stabilisasi. Luas sektor barat (W) dan barat laut (NW) tetap dominan tetapi pertumbuhannya cenderung melambat, sejalan dengan keterbatasan ruang di kawasan inti kota. Sementara sektor selatan (S) dan tenggara (SE) mempertahankan intensitas tinggi, memperkuat karakter arah pertumbuhan yang lebih terfokus. Akhirnya, pada tahun 2025, pola ROSE menunjukkan konfigurasi yang relatif stabil dan terorganisasi. Tiga sumbu utama — barat (W) sebagai zona densifikasi, selatan (S) sebagai koridor ekspansi aktif, dan tenggara (SE) sebagai kawasan suburban baru — menjadi poros utama transformasi ruang metropolitan Kalimantan Barat.

Secara keseluruhan, hasil analisis ROSE mengkonfirmasi bahwa pertumbuhan lahan terbangun di Kalimantan Barat bersifat terfokus, bertahap, dan mengikuti arah aksesibilitas utama, dengan konsentrasi intensitas tertinggi pada sumbu barat–selatan–tenggara. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa dinamika *sprawl* perkotaan di wilayah ini mencerminkan hubungan erat antara morfologi ruang, jaringan transportasi, dan tekanan pembangunan, serta menegaskan pentingnya pengendalian tata ruang berbasis arah pertumbuhan (*directional growth control*) sebagai strategi perencanaan metropolitan Kalimantan Barat.



Gambar 2. Tren perubahan luas lahan terbangun Provinsi Kalimantan Barat 2019 – 2025
Sumber : hasil analisis, 2025

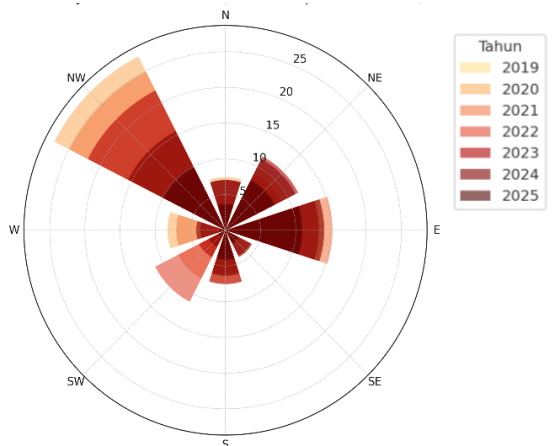
Visualisasi ROSE overlay [Gambar 3] memperlihatkan konsistensi arah pertumbuhan kawasan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat selama periode 2019–2025. Gradien warna dari kuning muda (2019) hingga merah tua (2025) menunjukkan urutan waktu dan intensitas akumulatif pertumbuhan lahan terbangun. Pola lapisan tahunan yang semakin menebal di arah selatan (S), tenggara (SE), dan barat (W) menandakan peningkatan kumulatif yang signifikan pada sektor-sektor tersebut, sementara arah utara (N), timur laut (NE), dan timur (E) memperlihatkan tumpang tindih warna

dengan radius pendek, yang merepresentasikan stabilitas spasial dan minimnya ekspansi baru di wilayah tersebut.

Secara spasial, konfigurasi overlay ini mengindikasikan bahwa struktur metropolitan Kalimantan Barat berkembang secara arah (directional), mengikuti sumbu pertumbuhan selatan–tenggara yang menghubungkan pusat Kota Pontianak dengan wilayah hinterland Kubu Raya dan Rasau Jaya. Sementara itu, sektor barat (W) berfungsi sebagai inti aglomerasi lama yang mengalami proses pemadatan internal (infill) dan peningkatan

intensitas aktivitas perkotaan. Hal ini menunjukkan bahwa ekspansi tidak terjadi secara acak, tetapi mengikuti logika spasial berbasis aksesibilitas dan jaringan transportasi utama yang mengarahkan pertumbuhan ke zona-zona dengan konektivitas tinggi.

Fenomena pada Gambar 3 memperlihatkan dua lapisan proses utama. Pertama, proses pemadatan internal (*infill*) di arah barat (W) dan barat daya (SW) yang memperkuat kepadatan kawasan inti metropolitan Pontianak–Mempawah. Kedua, proses ekspansi tepi (*edge/outlying*) di arah selatan (S) dan tenggara (SE) yang menandakan perluasan batas morfologi kota ke wilayah peri-urban dengan karakter suburbanisasi baru. Kedua dinamika ini berlangsung secara bersamaan dan saling melengkapi, membentuk sistem urban yang semakin terkoneksi (*connected growth*) namun juga berpotensi menimbulkan fragmentasi spasial apabila tidak diimbangi dengan kebijakan pengendalian ruang yang adaptif dan berbasis arah pertumbuhan.

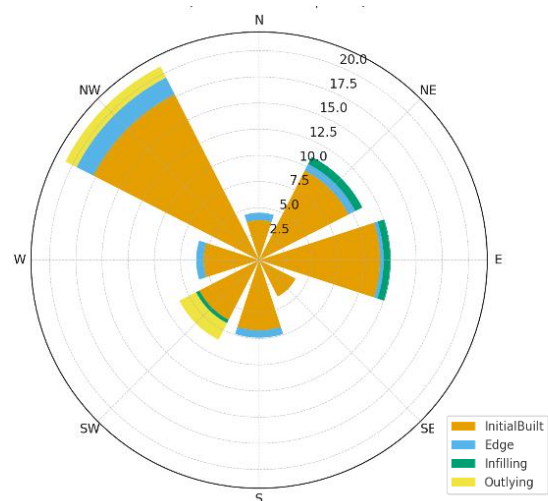


Gambar 3. Overlay Rose Diagram Lahan Terbangun Provinsi Kalimantan Barat 2019–2025
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Fenomena ini membentuk dua lapisan proses utama: (1) Pemadatan internal (*infill*) di arah barat dan barat daya, yang meningkatkan kepadatan di kawasan inti metropolitan dan (2) Ekspansi tepi (*edge/outlying*) di arah selatan dan tenggara, yang memperluas batas morfologi kota ke wilayah peri-urban. Kedua proses tersebut terjadi secara bersamaan dan membentuk sistem urban yang semakin terkoneksi, namun juga berpotensi

menimbulkan fragmentasi spasial bila tidak diimbangi dengan kebijakan pengendalian ruang.

Analisis ROSE-LET (2019-2025) mengklasifikasikan dinamika pertumbuhan kawasan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat ke dalam empat tipe utama, yaitu *Initial Built*, *Infilling*, *Edge Expansion*, dan *Outlying Growth* (Mondal & Gavsker, 2024). Hasil Analisis memperlihatkan pola spasial pertumbuhan kawasan terbangun di Provinsi Kalimantan Barat yang bersifat terarah dan terkendali. Berdasarkan hasil kuantitatif, tipe *Infilling* mendominasi sekitar 40% dari total pertumbuhan, diikuti oleh *Edge Expansion* sebesar $\pm 30\%$ dan *Outlying Growth* di bawah 10%. Dominasi *infilling* menunjukkan bahwa proses urbanisasi cenderung berlangsung melalui pemadatan dan optimalisasi lahan kosong di dalam jaringan perkotaan eksisting, bukan melalui ekspansi acak yang membentuk *sprawl* tidak terkendali. Kondisi ini mencerminkan arah pembangunan yang efisien, dengan pemanfaatan infrastruktur yang telah tersedia di wilayah inti metropolitan Pontianak–Kubu Raya.



Gambar 4. Rose Diagram Distribusi Arah Perkembangan Lahan Terbangun Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2019–2025
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Secara spasial, arah perkembangan paling dominan terjadi pada sektor selatan hingga tenggara, ditunjukkan oleh sebaran warna hijau dan biru muda pada diagram, yang menggambarkan kombinasi aktivitas *infilling*

dan *edge expansion* di sepanjang koridor pertumbuhan ekonomi utama. Sebaliknya, sektor barat dan utara memperlihatkan kemunculan *outlying growth* berskala kecil yang mengindikasikan potensi fragmentasi ruang menuju Kabupaten Mempawah dan kawasan pesisir utara. Walaupun luasnya terbatas (<2 km²), kecenderungan ini perlu diantisipasi melalui kebijakan pengendalian ekspansi pinggiran (*urban containment*).

Hasil integrasi analisis ROSE-LET berbasis Google Earth Engine ini menegaskan bahwa pertumbuhan kawasan terbangun di Kalimantan Barat bersifat *directional sprawl*—terkonsentrasi pada sumbu selatan–tenggara dan mengikuti pola jaringan transportasi serta pusat ekonomi yang sudah ada. Temuan ini memberikan dasar empiris bagi perumusan strategi densifikasi perkotaan dan pertimbangan pada kebijakan Rencana Tata Ruang, sehingga arah urbanisasi dapat tetap efisien, terhubung, dan berkelanjutan sesuai prinsip pembangunan spasial adaptif.

Temuan ini mengindikasikan bahwa strategi tata ruang ke depan perlu menyeimbangkan proses pemadatan kawasan inti (*infill densification*) dengan pengendalian ekspansi di wilayah pinggiran (*urban containment*) agar urbanisasi berlangsung secara efisien, terhubung, dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, hasil analisis ROSE 2025 menunjukkan bahwa pola pertumbuhan kawasan terbangun di Kalimantan Barat bersifat terarah dan terkonsentrasi (*directional and structured urban expansion*), dengan orientasi dominan ke arah tenggara dan selatan mengikuti sumbu ekonomi dan jaringan transportasi utama provinsi.

Implikasi terhadap Tata Ruang Wilayah

Secara keseluruhan, arah dominan pertumbuhan kawasan terbangun di Kalimantan Barat berada pada sektor barat (W), selatan (S), dan tenggara (SE), dengan variasi intensitas antartahun yang menunjukkan pola *urban sprawl* terarah dan masih terkendali. Arah barat (W) berperan sebagai inti aglomerasi lama

(existing urban core) di koridor Pontianak–Mempawah, sedangkan sektor selatan (S) dan tenggara (SE) berfungsi sebagai koridor ekspansi baru yang memerlukan pengendalian melalui kebijakan urban containment dan pembatasan konversi lahan.

Hasil visualisasi pada ROSE Diagram Tahun 2025 memperlihatkan distribusi spasial pertumbuhan kawasan terbangun berdasarkan delapan sektor orientasi (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Pola umum menunjukkan bahwa arah pertumbuhan paling dominan terjadi pada SE–S–W, dengan nilai akumulatif Initial Built dan Edge Expansion tertinggi dibandingkan sektor lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa perkembangan perkotaan Kalimantan Barat terkonsentrasi di sepanjang koridor Pontianak–Kubu Raya–Rasau Jaya hingga Sungai Ambawang, yang berfungsi sebagai jalur utama konektivitas antarkawasan metropolitan sekaligus pusat pertumbuhan ekonomi, perumahan, dan infrastruktur baru.

Berdasarkan temuan tersebut, arah kebijakan tata ruang provinsi perlu diarahkan pada strategi-strategi pokok berikut:

1. Pengendalian konversi lahan di sektor selatan dan tenggara, melalui penerapan urban service boundary, penahapan jaringan utilitas, serta pembatasan izin pembangunan di luar peruntukan RTRW.
2. Densifikasi dan penguatan *infill development* di sektor barat, khususnya pada wilayah Pontianak–Kubu Raya, untuk mengoptimalkan kapasitas infrastruktur dan layanan publik yang sudah tersedia.
3. Integrasi sistem pemantauan spasial berbasis Google Earth Engine (GEE) ke dalam mekanisme evaluasi rutin RTRW, guna memastikan perubahan penggunaan lahan tetap selaras dengan arah pembangunan berkelanjutan.
4. Antisipasi arah pertumbuhan ke timur–tenggara dalam dokumen RTRW dan RDTR dengan menetapkan zona pengendalian konversi lahan di luar kawasan budidaya serta koridor ekologis.
5. Pemanfaatan dominasi proses *infilling* dan *edge expansion* sebagai dasar kebijakan

densifikasi dan revitalisasi kawasan eksisting yang efisien terhadap pemanfaatan infrastruktur dan energi.

6. Identifikasi dini terhadap pola outlying growth, untuk mencegah fragmentasi spasial, penyebaran permukiman tanpa layanan dasar, dan peningkatan biaya pembangunan jaringan transportasi baru.

KESIMPULAN

Secara temporal, hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan luas lahan terbangun secara konsisten dari tahun ke tahun, dengan laju ekspansi signifikan setelah 2021, terutama di kawasan Pontianak, Kubu Raya, dan sekitarnya. Proporsi *built-up area* terhadap total luas provinsi terus meningkat, menandakan adanya intensifikasi pembangunan di sekitar pusat ekonomi dan sepanjang koridor infrastruktur utama.

Selama 2019–2025, luasan kawasan terbangun di Kalimantan Barat menunjukkan kenaikan berkelanjutan dengan percepatan paling nyata sesudah 2021, terutama di wilayah metropolitan Pontianak–Kubu Raya dan sekitarnya. Kenaikan proporsi piksel terbangun terhadap total wilayah menandakan konsentrasi pembangunan pada pusat kegiatan dan koridor infrastruktur utama, bukan pertumbuhan acak.

Analisis orientasi menggunakan diagram ROSE menegaskan bahwa arus ekspansi ruang kota terarah dengan poros dominan pada barat (W), selatan (S), dan tenggara (SE). Koridor Pontianak–Mempawah bertindak sebagai inti densifikasi, sementara jalur menuju Kubu Raya–Rasau Jaya dan Sungai Ambawang menjadi sumbu perembetan baru. Arah utara (N) dan timur laut (NE) relatif ajeg dengan penambahan terbatas, selaras dengan fungsi ekologis kawasan rawa dan sempadan sungai.

Tipologi pertumbuhan berbasis ROSE-LET memperlihatkan komposisi yang didominasi infilling dan edge-expansion, sedangkan outlying muncul sporadis di tepi peri-urban. Pola ini mengindikasikan dua proses yang berjalan bersamaan: pemadatan dan peremajaan jaringan kota pada inti aglomerasi,

serta ekspansi terkendali ke wilayah hinterland. Meski demikian, indikasi outlying di NW–N perlu diawasi untuk mencegah fragmentasi dan beban jaringan layanan dasar.

Implikasi kebijakan ruang yang disarankan: menetapkan zona pengendalian konversi pada sektor S–SE dengan pengaturan *urban service boundary*, penahapan utilitas, dan disiplin perizinan sesuai RTRW/RDTR; Memprioritaskan densifikasi dan infill development pada koridor berinfrastruktur di Pontianak–Kubu Raya; Mengendalikan persebaran permukiman baru di NW–N guna mengurangi risiko *leap-frog sprawl* dan biaya jaringan jalan; Mengintegrasikan pemantauan berbasis GEE ke siklus evaluasi RTRW/RDTR untuk deteksi dini perubahan dan penyesuaian kebijakan yang adaptif.

Pendekatan komputasi awan GEE terbukti efektif, replikasi-mudah, dan transparan untuk menautkan bukti spasial dengan keputusan perencanaan, sekaligus mendukung tata kelola pertumbuhan metropolitan Kalimantan Barat yang lebih terukur dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baqa, M. F., Chen, F., Lu, L., Qureshi, S., Tariq, A., Wang, S., Jing, L., Hamza, S., & Li, Q. (2021). Monitoring and modeling the patterns and trends of urban growth using urban *sprawl* matrix and CA-Markov model: A case study of Karachi, Pakistan. *Land*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/land10070700>
- Boulila, W., Ghandorh, H., Khan, M. A., Ahmed, F., & Ahmad, J. (2021). A Novel CNN-LSTM-based Approach to Predict Urban Expansion. *Ecological Informatics*, 64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101325>
- Carlson, K. M., Curran, L. M., Ratnasari, D., Pittman, A. M., Soares-Filho, B. S., Asner, G. P., Trigg, S. N., Gaveau, D. A., Lawrence, D., & Rodrigues, H. O. (2012). Committed carbon emissions, deforestation, and community land conversion from oil palm plantation expansion in West Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

- States of America*, 109(19), 7559–7564.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1200452109>
- Chi, X., Hua, J., & Ren, X. (2022). A Novel Metaphor Graph Drawing Method for Multidimensional Data Visualisation and Its Case Study on COVID-19 Vaccination Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23).
<https://doi.org/10.3390/ijerph192315547>
- Fitriani, N. I., Juhadi, & Indrayati, A. (2018). Fenomena Urban Sprawl Jabodetabek Info Artikel. *Edu Geography*, 6(1).
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edugeo>
- Goldblatt, R., You, W., Hanson, G., & Khandelwal, A. K. (2016). Detecting the boundaries of urban areas in India: A dataset for pixel-based image classification in google earth engine. *Remote Sensing*, 8(8).
<https://doi.org/10.3390/rs8080634>
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., Niu, Z., Huang, X., Fu, H., Liu, S., Li, C., Li, X., Fu, W., Liu, C., Xu, Y., Wang, X., Cheng, Q., Hu, L., Yao, W., ... Chen, J. (2013). Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2607–2654.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2012.748992>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Heldayani, E., & Bachri, S. (2026). Urban Sprawl Evolution in a River-Split City: A 20-Year Analysis of Palembang. *Geografi*, 18(1), 269–287. <https://doi.org/10.24114/6fzp1c73>
- Hidayah, A. N., Sudrajat, J., & Fitrianti, W. (2022). Determinan Keberlanjutan Usahatani Padi Sawah Tadah Hujan: Kasus Desa Pesisir Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 382–395.
<https://doi.org/10.14710/jil.20.2.382-395>
- Liu, D., Chen, N., Zhang, X., Wang, C., & Du, W. (2020). Annual large-scale urban land mapping based on Landsat time series in Google Earth Engine and OpenStreetMap data: A case study in the middle Yangtze River basin. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 337–351.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.11.021>
- Mondal, S., & Gavsker, K. K. (2024). Unraveling the spatio-temporal trajectories of urban growth in Asansol city, West Bengal: A geospatial exploration of the emerging urban landscape. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101386>
- Santoso, E. B., Putra, D. W., Iswi, A., & Wardhana, R. D. S. B. (2026). Development of greater Surabaya metropolitan 2000–2023: metropolitan understanding using functional urban area at village scale. *Frontiers in Sustainable Cities*, 8(May), 1–17.
<https://doi.org/10.3389/frsc.2026.1760759>
- Setyawati, K. C., Ghifari, M. K., & Aribahwanto, M. A. (2022). Pengaruh Pengaruh Urban Sprawl Terhadap Tata Kota Surabaya. *Journal of Economics Development Issues*, 5(2), 78–85.
<https://doi.org/10.33005/jedi.v5i2.122>
- Siregar, P. G., Supriatna, J., Koestoer, R. H., & Harmantyo, D. (2018). System dynamics modeling of land use change in West Kalimantan, Indonesia. *Biotropia*, 25(2), 103–111.
<https://doi.org/10.11598/btb.2018.25.2.792>
- Spencer, K. L., Deere, N. J., Aini, M., Avriandy, R., Campbell-Smith, G., Cheyne, S. M., Gaveau, D. L. A., Humle, T., Hutabarat, J., Loken, B., Macdonald, D. W., Marshall, A. J., Morgans, C., Rayadin, Y., Sanchez, K. L., Spehar, S., Suanto, Sugardjito, J., Wittmer, H. U., ... Struebig, M. J. (2023). Implications of large-scale infrastructure development for biodiversity in Indonesian Borneo. *Science of the Total Environment*, 866.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161075>
- Surya, B., Salim, A., Hernita, H., Suriani, S., Menne, F., & Rasyidi, E. S. (2021). Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: A sustainable development perspective of makassar city, indonesia. *Land*, 10(6).
<https://doi.org/10.3390/land10060556>

- Surya, B., Syafri, Abubakar, H., Sahban, H., & Sakti, H. H. (2020). Spatial Transformation of New City Area: Economic, Social, and Environmental Sustainability Perspective of Makassar City, Indonesia. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55(3). <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.3.30>
- Syaban, A. S. N., & Appiah-Opoku, S. (2024). Unveiling the Complexities of Land Use Transition in Indonesia's New Capital City IKN Nusantara: A Multidimensional Conflict Analysis. *Land*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/land13050606>
- Verstegen, J. A., van der Laan, C., Dekker, S. C., Faaij, A. P. C., & Santos, M. J. (2019). Recent and projected impacts of land use and land cover changes on carbon stocks and biodiversity in East Kalimantan, Indonesia. *Ecological Indicators*, 103, 563–575. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.053>
- Yuliani, E. L., de Jong, E. B. P., Knippenberg, L., Bakara, D. O., Salim, M. A., & Sunderland, T. (2018). Keeping the land: Indigenous communities' struggle over land use and sustainable forest management in Kalimantan, Indonesia. *Ecology and Society*, 23(4). <https://doi.org/10.5751/ES-10640-230449>
- Zarro, C., Cerra, D., Auer, S., Ullo, S. L., & Reinartz, P. (2022). Urban Sprawl and COVID-19 Impact Analysis by Integrating Deep Learning with Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/rs14092038>
- Zhang, Z., Wei, M., Pu, D., He, G., Wang, G., & Long, T. (2021). Assessment of annual composite images obtained by google earth engine for urban areas mapping using random forest. *Remote Sensing*, 13(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs13040748>