Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi (GeoJPG)
Vol.5 No.2 Desember 2026, Hal.210-224
DOI: https://doi.org/10.37905/geojpg.v5i2.42447

p - ISSN: 2962-5424
e - ISSN: 2962-5416

Analisis Perubahan Tutupan Vegetasi dan Kawasan Terbangun Menggunakan Data Tutupan Lahan Sentinel-2 di Kota Jambi

Muhammad Iqbal Maulana[1], Aditia Pratama[1], M Dulilah Leo Sesar[1], Adji Iqbal Maulana Siregar[1], Zul Kariman[1], Suhendra[1]

[1]Program Studi Sains Informasi Geografi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Indonesia
*Email Koresponden: Iqbal321maulana@gmail.com

Diterima: 31-10-2026 **Disetujui: 20-11-2026** **Publish: 01-12-2026**

Abstrak Kota Jambi tumbuh pesat sebagai ibu kota provinsi sehingga lahan bervegetasi terus berkurang oleh kawasan terbangun, sementara produk tutupan lahan global yang siap pakai jarang diuji dengan data referensi lokal di kota-kota Indonesia. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan tutupan vegetasi dan kawasan terbangun di Kota Jambi pada tahun 2017 dan 2025 serta menilai keandalan datanya. Peta tutupan lahan tahunan beresolusi 10 meter dari citra Sentinel-2 direklasifikasi menjadi empat kelas, lalu dianalisis melalui tumpang susun, matriks transisi, dan tabulasi luas per kecamatan. Akurasi diuji dengan 200 titik referensi pada citra Google Earth Pro. Akurasi keseluruhan terboboti luas mencapai 75,9% pada 2017 dan 78,6% pada 2025, dengan lahan terbuka sebagai kelas paling lemah. Vegetasi menurun dari 31,41% menjadi 26,91% luas wilayah, atau berkurang 764,60 hektare, sedangkan kawasan terbangun bertambah 3.389,62 hektare. Sebanyak 1.353,24 hektare vegetasi berubah menjadi kawasan terbangun, dan penurunan vegetasi terbesar terhadap luas kecamatan terjadi di Kota Baru dan Alam Barajo. Estimasi luas terkoreksi matriks kesalahan menunjukkan arah yang sama dengan pertambahan kawasan terbangun yang lebih kecil, sekitar 2.953 hektare. Data ini layak dipakai untuk membaca arah perubahan dan memprioritaskan pengawasan pemanfaatan ruang, tetapi belum layak sebagai angka luas yang pasti.

Kata kunci: Kawasan Terbangun; Perubahan Tutupan Lahan; Esri Land Cover; Sentinel-2; Vegetasi

Abstract *Jambi City has grown quickly as a provincial capital, and its vegetated land keeps giving way to built-up areas, while global land cover products are rarely tested against local reference data in Indonesian cities. This study analyzed changes in vegetation and built-up areas in Jambi City between 2017 and 2025 and assessed data reliability. Annual 10-meter land cover maps derived from Sentinel-2 imagery were reclassified into four classes and analyzed through overlay, a transition matrix, and area tabulation by district. Accuracy was tested with 200 reference points on Google Earth Pro imagery. Area-weighted overall accuracy reached 75.9% in 2017 and 78.6% in 2025, with bare land the weakest class. Vegetation fell from 31.41% to 26.91% of the study area, a loss of 764.60 hectares, while built-up area grew by 3,389.62 hectares. A total of 1,353.24 hectares of vegetation became built-up area, and the largest vegetation loss relative to district size occurred in Kota Baru and Alam Barajo. Error-adjusted area estimates showed the same direction of change with a smaller built-up gain of about 2,953 hectares. The data are suitable for reading the direction of change and prioritizing land use monitoring, but not for reporting precise areas.*

Keywords: *Built-Up Area; Esri Land Cover; Land Cover Change; Sentinel-2; Vegetation*

1. PENDAHULUAN

Lahan perkotaan terbatas, sementara kebutuhan permukiman, perdagangan, jasa, dan infrastruktur terus naik. Pertumbuhan penduduk, migrasi, dan perkembangan ekonomi mendorong kota meluas ke wilayah sekitarnya (Ustaoglu & Williams, 2017), dan perluasan itu sering diikuti pergantian vegetasi serta lahan pertanian menjadi kawasan terbangun (Li et al., 2020). Perubahan penggunaan dan tutupan lahan merupakan hasil interaksi antara aktivitas manusia dan kondisi biofisik lingkungan (Turner et al., 2021).

Hilangnya vegetasi kota membawa konsekuensi yang terukur. Perubahan tutupan lahan memengaruhi proses hidrologi dan ketersediaan air (Chaudhuri et al., 2018), sedangkan permukaan terbangun yang menggantikan vegetasi mengubah lingkungan termal kota (Hamoodi et al., 2019). Ruang hijau menunjang keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem (Panwar et al., 2026), sehingga sebaran dan perubahannya perlu dipantau untuk perencanaan kota (Agustiyara et al., 2025). Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menetapkan ruang terbuka hijau (RTH) paling sedikit 30% dari luas wilayah kota, tetapi alih fungsi lahan dan kebutuhan pembangunan masih menyulitkan pelaksanaannya (Priyanta & Zulkarnain, 2024).

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

Tekanan itu nyata di Kota Jambi. Sebagai ibu kota provinsi sekaligus pusat pemerintahan, perdagangan, dan jasa, kota ini berpenduduk paling padat di Provinsi Jambi, dan ketidakseimbangan antara pertumbuhan penduduk dengan ketersediaan lahan mendorong perubahan penggunaan lahan (Mardalena et al., 2025). Kajian sebelumnya melaporkan pertambahan kawasan terbangun, terutama di Kecamatan Kota Baru dan Alam Barajo, serta perluasan kota ke arah barat daya (Arrafi & Salma, 2025). Namun seberapa besar vegetasi yang hilang di tengah perluasan itu, berubah menjadi kelas apa, dan di kecamatan mana, belum terjawab secara rinci untuk seluruh kota.

Penginderaan jauh memungkinkan pemantauan semacam ini karena menyediakan pengamatan wilayah luas secara berkala, dan perbandingan citra dari dua waktu dapat menunjukkan lokasi serta jenis transisi tutupan lahan (Zhu et al., 2022). Rekaman sensor baru bermanfaat setelah pengolahan dan interpretasi mengubahnya menjadi informasi tematik (Jaelani, 2026). Sentinel-2 menyediakan citra multispektral yang mendukung pemetaan tutupan lahan pada berbagai skala (Gascon et al., 2017) dan telah dipakai untuk menganalisis indeks vegetasi di pusat Kota Ambon (Rifai et al., 2025). Di Indonesia, kajian ruang hijau berbasis citra satelit banyak berskala kampus (Dharmawan et al., 2021; Prawira et al., 2025) atau berfokus pada indeks vegetasi untuk satu kota atau kecamatan (Purboyo et al., 2021; Pangestu et al., 2025).

Hasil pemetaan bergantung pada resolusi spasial, metode klasifikasi, dan kualitas data referensi. Produk tutupan lahan global beresolusi 10 m seperti *Esri 10-m Annual Land Cover* (Karra et al., 2021) menawarkan jalan pintas karena gratis, seragam, dan tersedia tahunan. Namun akurasinya berbeda antarkelas dan antarwilayah: dalam perbandingan global, kelas air dan kawasan terbangun terpetakan paling baik, sedangkan lahan terbuka jauh lebih lemah (Venter et al., 2022). Kajian tutupan lahan Kota Jambi yang ada memakai citra Landsat 8 beresolusi 30 m (Arrafi & Salma, 2025; Mardalena et al., 2025; Simarmata et al., 2025), dan sepanjang penelusuran penulis belum ada kajian yang memakai produk 10 m ini di Kota Jambi dengan matriks transisi, rincian per kecamatan, dan uji akurasi lokal.

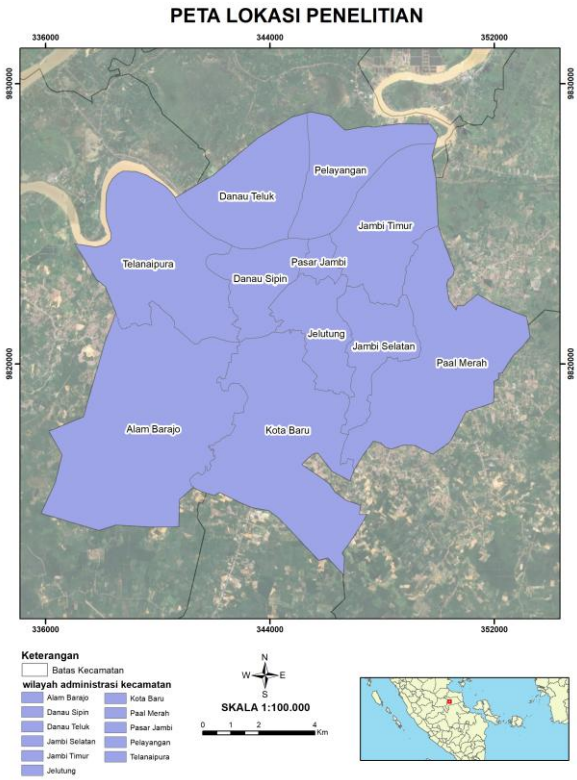
Kebaruan penelitian ini ada pada dua hal. Pertama, data *Esri Land Cover* 2017 dan 2025 diuji terhadap titik referensi lokal, dan implikasinya terhadap luas serta transisi diperiksa dengan estimasi luas terkoreksi matriks kesalahan (Stehman & Foody, 2019), dengan alur kerja yang hanya memakai data terbuka dan perangkat SIG standar sehingga mudah diulang pemerintah daerah. Kedua, perubahan vegetasi dan kawasan terbangun diuraikan melalui matriks transisi dan tabulasi per kecamatan sehingga penurunan bersih dapat dipisahkan dari perubahan kotor dan lokasinya dapat ditunjuk. Tujuan penelitian ini adalah (1) memetakan tutupan lahan Kota Jambi tahun 2017 dan 2025 dengan data *Esri Land Cover* Sentinel-2, (2) menganalisis perubahan tutupan vegetasi dan kawasan terbangun beserta pola transisinya, (3) mengidentifikasi perubahan pada tingkat kecamatan, dan (4) menilai akurasi data serta implikasinya terhadap keandalan estimasi luas dan perubahan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kota Jambi, Provinsi Jambi, pada tahun 2026 dengan membandingkan tutupan lahan tahun 2017 dan 2025, selang delapan tahun. Luas wilayah analisis adalah 16.985,26 ha (169,85 km^2) berdasarkan batas administrasi yang digunakan. Kota Jambi berbatasan dengan Kabupaten Muaro Jambi di sebelah utara, selatan, barat, dan timur, dilintasi Sungai Batanghari, dan terdiri atas 11 kecamatan, yaitu Alam Barajo, Danau Sipin, Danau Teluk, Jambi Selatan, Jambi Timur, Jelutung, Kota Baru, Paal Merah, Pasar Jambi, Pelayangan, dan Telanaipura (Gambar 1).

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. **Data dan Teknik Pengumpulan Data**

Penelitian ini memakai dua kelompok data sekunder dan satu kelompok data referensi. Data utama adalah *Esri 10-m Annual Land Cover* tahun 2017 dan 2025, produk yang dikembangkan Impact Observatory bersama Esri dari citra Sentinel-2 dengan model pembelajaran mendalam (Karra et al., 2021). Data berbentuk raster beresolusi 10 meter dengan sembilan kelas, yaitu *water*, *trees*, *flooded vegetation*, *crops*, *built area*, *bare ground*, *snow/ice*, *clouds*, dan *rangeland*. Model dilatih dengan miliaran piksel berlabel manual dan diterapkan pada citra Sentinel-2 sepanjang satu tahun, lalu prediksi dari berbagai tanggal perekaman dikomposit menjadi satu peta per tahun (Impact Observatory et al., n.d.). Esri (2026) menyatakan bahwa metodologi yang sama diterapkan pada seluruh deret tahun agar perbandingan antartahun dapat diandalkan, tetapi hasil pada skala sangat lokal dapat bervariasi.

Dua berkas raster tile 48M diunduh pada 28 Oktober 2026 dari *Sentinel-2 Land Cover Explorer* (https://livingatlas.arcgis.com/landcover/), yaitu 48M_20170101-20180101 untuk peta 2017 dan 48M_20250101-20251231 untuk peta 2025, dengan sistem koordinat WGS 1984 UTM Zone 48S (EPSG:32748). Setiap peta menggambarkan komposit sepanjang tahun, bukan satu tanggal perekaman. Selisih kedua peta dapat memuat perbedaan jumlah dan kualitas citra bebas awan pada tiap tahun, yang penting di wilayah tropis berawan, serta ketidakpastian model, sehingga diperlakukan sebagai *perubahan terdeteksi*, bukan perubahan aktual, sampai diperiksa dengan data referensi (subbab 3.5 dan 3.6). Batas administrasi kota dan kecamatan diunduh dari Ina-Geoportal Badan Informasi Geospasial tanpa pengamatan lapangan.

Data referensi untuk uji akurasi dikumpulkan melalui interpretasi visual citra resolusi tinggi pada *Google Earth Pro*, yang lazim dipakai sebagai referensi validasi pemetaan tutupan lahan (Zhao et al., 2021). Titik sampel dibangkitkan di *ArcMap* 10.8, dikonversi ke format KML, lalu diperiksa satu per satu pada fitur *Historical Imagery* dengan citra yang tanggal perekamannya berada dalam periode komposit tiap peta, yaitu Januari–Desember 2017 dan Januari–Desember 2025. Bila citra tertutup awan, dipilih rekaman lain pada tahun yang sama yang paling bebas awan. Kelas ditetapkan menurut penutup dominan pada area seluas satu piksel Esri (10 m × 10 m) agar sebanding dengan unit pemetaan. Vegetasi mencakup tajuk pohon, kebun, sawah atau ladang, rumput, semak, dan vegetasi tergenang; kawasan terbangun mencakup atap bangunan, jalan beraspal atau berbeton, dan permukaan kedap air lainnya; lahan terbuka adalah tanah atau material tanpa vegetasi dan tanpa bangunan, termasuk lahan yang telah dikupas atau diratakan; badan

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

air adalah permukaan air terbuka seperti sungai, danau, dan kolam. Interpretasi dilakukan oleh satu orang secara terpisah untuk setiap tahun, disertai pemeriksaan ulang menyeluruh untuk menjaga konsistensi.

2.3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis terdiri atas empat tahap, yaitu pra-pemrosesan, reklasifikasi, uji akurasi, dan analisis perubahan termasuk tingkat kecamatan (Gambar 2). Pendekatan ini membandingkan peta dari dua waktu pengamatan, yang lazim dipakai untuk mengkaji perubahan tutupan lahan (Cardille et al., 2024). Pada pra-pemrosesan, raster dipotong dengan fitur *Extract by Mask* menggunakan batas administrasi kota, lalu diproyeksikan ke WGS 1984 UTM Zona 48S dengan *Project Raster* sehingga satu piksel 10 m × 10 m mewakili 0,01 ha. Sembilan kelas asli kemudian direklasifikasi dengan *Reclassify* menjadi empat kelas sesuai tujuan penelitian (Tabel 1); kelas *snow/ice* dan *clouds* tidak ditemukan di wilayah penelitian.



Gambar 2. Metode dan Prosedur Penelitian

Tabel 1. Skema Reklasifikasi Kelas Tutupan Lahan

Kelas Penelitian	Kelas Asli *Esri Land Cover*	Keterangan
Vegetasi	*Trees*, *flooded vegetation*, *crops*, *rangeland*	Pepohonan, vegetasi tergenang, tanaman budidaya, rumput dan semak
Kawasan Terbangun	*Built area*	Bangunan dan infrastruktur buatan manusia
Lahan Terbuka	*Bare ground*	Tanah atau batuan tanpa tutupan vegetasi yang berarti
Badan Air	*Water*	Sungai, danau, dan badan air lainnya

Penggabungan empat kelas asli menjadi vegetasi didasarkan pada dua pertimbangan. Secara ilmiah, pertanyaan penelitian berfokus pada kontras antara permukaan bervegetasi dan permukaan kedap air, bukan pada jenis vegetasinya. Secara operasional, pembedaan *trees*, *crops*, dan *rangeland* pada citra resolusi tinggi di kota tropis yang bermosaik permukiman, kebun pekarangan, dan lahan tidak terpelihara sulit dilakukan konsisten melalui interpretasi visual, dan produk Esri sendiri dilaporkan pernah mengalami perubahan anomali antara kelas *bare* dan kelas vegetasi (Impact Observatory et al., n.d.). Konsekuensinya, kelas vegetasi adalah tutupan vegetasi total yang tidak dapat ditafsirkan sebagai ruang hijau perkotaan atau RTH, dan rincian per subkelas dicatat sebagai agenda penelitian lanjutan.

Akurasi peta diuji karena produk ini tidak dikalibrasi khusus untuk Kota Jambi. Titik dibangkitkan dengan *stratified random sampling* berstrata kelas peta, yaitu 50 titik untuk masing-masing dari empat kelas sehingga totalnya 200 titik, memakai *Create Random Points* di *ArcMap* 10.8 berdasarkan kelas peta 2025 tanpa dibatasi pada piksel yang tidak berubah. Titik yang sama dipakai untuk kedua tahun, sedangkan kelas referensi ditentukan terpisah untuk tiap tahun dengan kode 1 = badan air, 2 = lahan terbuka, 3 = kawasan terbangun, dan 4 = vegetasi. Alokasi sekitar 50 titik per kelas memastikan kelas yang sempit, seperti badan air dan lahan terbuka (0,32% wilayah pada peta 2025), tetap memperoleh titik yang cukup. Konsekuensinya, titik tidak sebanding dengan luas kecamatan (dari 5 titik di Pasar Jambi hingga 35 titik di Telanaipura) sehingga akurasi tidak dapat diuji per kecamatan, dan akurasi keseluruhan serta akurasi produsen harus dibobot dengan luas kelas peta. Galat baku akurasi keseluruhan terboboti luas dengan 200 titik adalah 3,6% pada 2017 dan 4,4% pada 2025, lebih besar daripada sasaran 2% yang menurut perhitungan penulis memerlukan sekitar 430 titik, sehingga hasil dibaca dengan selang kepercayaan. Rancangan berpasangan membuat estimasi akurasi kedua tahun tidak independen secara statistik, dan

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

karena hanya 15 dari 200 titik yang berubah kelas menurut peta, akurasi transisi hanya diperiksa secara deskriptif (subbab 3.2) dan tidak diestimasi.

Kelas referensi dibandingkan dengan kelas peta dalam matriks kesalahan (*confusion matrix*) (Nicolau et al., 2024; Stehman & Foody, 2019). Dari matriks itu dihitung akurasi pengguna (*user's accuracy*), akurasi produsen (*producer's accuracy*), akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), dan koefisien kappa. Akurasi pengguna adalah proporsi titik yang dipetakan sebagai suatu kelas dan benar menurut referensi, sedangkan akurasi produsen adalah proporsi luas referensi suatu kelas yang terpetakan dengan benar. Karena titik dialokasikan sama per kelas peta, akurasi keseluruhan, akurasi produsen, dan kappa dihitung dari proporsi luas yang dibobot dengan luas kelas peta, sedangkan akurasi pengguna dihitung langsung dari jumlah titik. Sebagai pembanding, akurasi keseluruhan sampel (jumlah titik benar dibagi total titik) dilaporkan dengan selang kepercayaan 95% metode skor Wilson.

Analisis perubahan dimulai dengan menghitung luas setiap kelas pada tiap tahun (jumlah piksel dikalikan 0,01 ha) dan selisih luas antartahun. Laju perubahan tahunan dihitung dengan Persamaan (1).

$$\mathrm{LP} = \left(\frac{\frac{L_{2025} - L_{2017}}{L_{2017}}}{n} \right) \times 100\% \quad (1)$$

dengan *LP* adalah laju perubahan (% per tahun), L_{2017} dan L_{2025} adalah luas kelas pada tahun 2017 dan 2025, serta *n* adalah selang waktu (8 tahun). Pola transisi diperoleh dengan meng-*overlay* peta 2017 dan 2025 memakai fitur *Combine* pada *Spatial Analyst Tools*, yang menghasilkan kombinasi kelas kedua tahun untuk setiap piksel, lalu disusun menjadi matriks transisi (*from–to*) dan peta perubahan tutupan lahan. Pada tingkat kecamatan, luas kelas dihitung dengan fitur *Tabulate Area*, dan perubahan dinyatakan pula sebagai persentase terhadap luas kecamatan (poin persentase) dan terhadap luas kelas pada 2017.

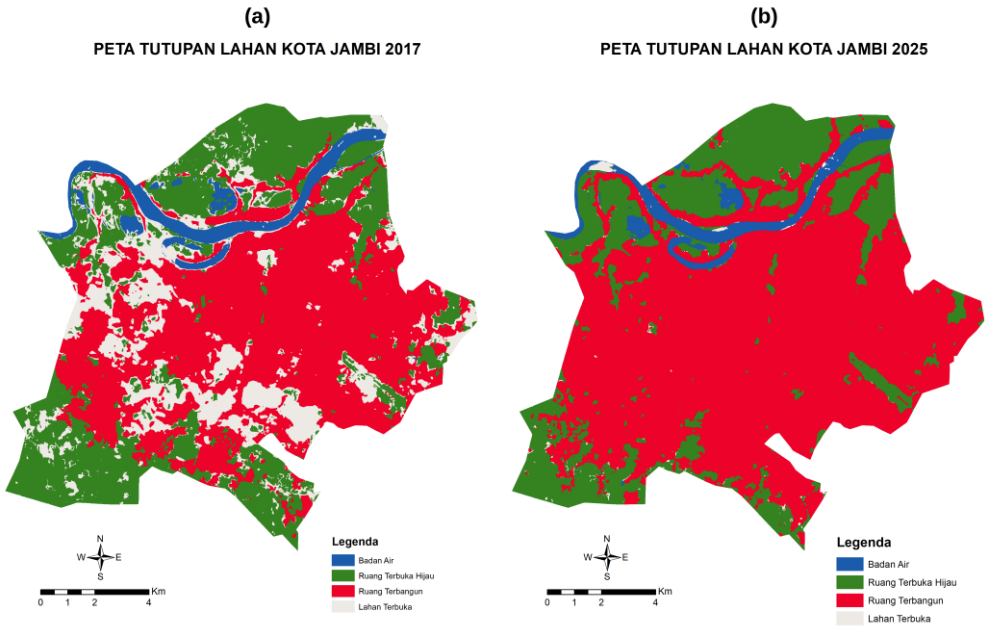
Luas hasil hitungan piksel juga dibandingkan dengan estimasi luas terkoreksi matriks kesalahan (*area-adjusted area estimation*) (Stehman & Foody, 2019). Matriks kesalahan dibobot dengan proporsi luas kelas peta sehingga menghasilkan estimasi luas setiap kelas referensi beserta galat baku dan selang kepercayaan 95%. Penaksir ini dirancang untuk sampel berstrata kelas peta sehingga sesuai dengan rancangan penelitian ini; pada setiap tahun, kelas peta tahun itu menjadi strata. Selisih antartahun dihitung sebagai selisih estimasi kedua tahun, dengan galat baku yang menganggap kedua tahun independen sehingga cenderung konservatif karena titiknya sama (subbab 3.6).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tutupan Lahan Kota Jambi Tahun 2017 dan 2025

Luas wilayah analisis adalah 16.985,26 ha dan menjadi dasar perhitungan luas serta persentase setiap kelas. Kawasan terbangun menjadi kelas terluas pada kedua tahun, disusul vegetasi (Tabel 2). Secara spasial, kawasan terbangun menumpuk di bagian tengah kota dan memanjang ke timur, sedangkan vegetasi bertahan terutama di utara sekitar Sungai Batanghari serta di barat daya dan ujung selatan. Lahan terbuka 2017 tersebar sebagai bercak di bagian tengah hingga barat daya dan pada 2025 hampir seluruhnya telah menjadi kawasan terbangun, sementara vegetasi barat daya yang pada 2017 relatif utuh terpecah menjadi bagian yang lebih kecil (Gambar 3). Pada 2025, vegetasi terluas berada di Alam Barajo (1.008,83 ha), Danau Teluk (911,52 ha), Telanaipura (682,82 ha), dan Pelayangan (668,80 ha), sedangkan Jambi Selatan, Jelutung, dan Pasar Jambi hampir seluruhnya terbangun.

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.



Gambar 3. Peta tutupan lahan di Kota Jambi (a) Tahun 2017 dan (b) Tahun 2025

Vegetasi mencakup 5.335,66 ha (31,41%) pada 2017 dan turun menjadi 4.571,06 ha (26,91%) pada 2025, berkurang 764,60 ha atau 4,50 poin persentase dari luas wilayah (14,33% dari luas awal), dengan laju −1,79% per tahun. Kawasan terbangun bergerak sebaliknya, dari 8.137,02 ha (47,91%) menjadi 11.526,64 ha (67,86%), naik 3.389,62 ha (19,95 poin persentase) dengan laju 5,21% per tahun. Perubahan proporsional terbesar terjadi pada lahan terbuka, yang menyusut dari 2.599,71 ha (15,31%) menjadi 54,90 ha (0,32%), sedangkan badan air turun 80,21 ha atau −1,10% per tahun. Angka-angka ini adalah hasil hitungan piksel dan belum dikoreksi terhadap kesalahan klasifikasi (subbab 3.6).

Tabel 2. Luas dan Perubahan Tutupan Lahan Kota Jambi Tahun 2017 dan Tahun 2025

Tutupan Lahan	Luas 2017 (ha)	Luas 2017 (%)	Luas 2025 (ha)	Luas 2025 (%)	Perubahan (ha)	Laju (%/tahun)
Badan Air	912,87	5,37	832,66	4,90	−80,21	−1,10
Lahan Terbuka	2.599,71	15,31	54,90	0,32	−2.544,81	−12,24
Kawasan Terbangun	8.137,02	47,91	11.526,64	67,86	+3.389,62	+5,21
Vegetasi	5.335,66	31,41	4.571,06	26,91	−764,60	−1,79
Total	**16.985,26**	**100**	**16.985,26**	**100**	**0**	**0**

Keterangan: + = bertambah, − = berkurang

3.2. Pola Perubahan Tutupan Lahan

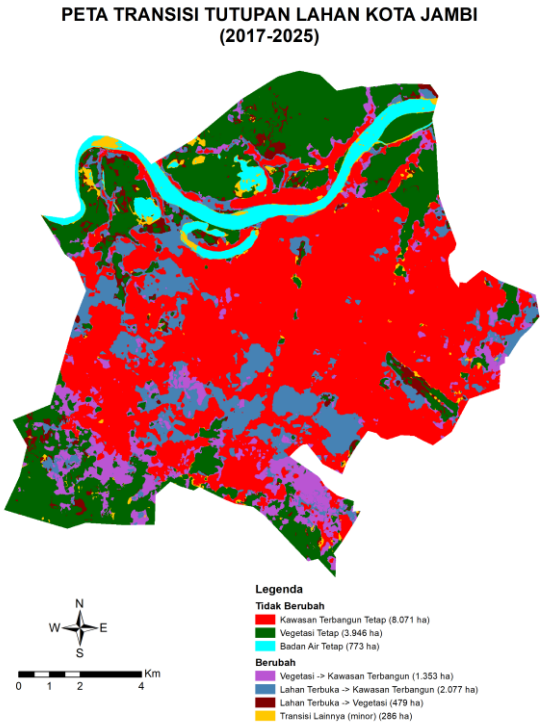
Matriks transisi (Tabel 3) menunjukkan bahwa sebagian besar vegetasi 2017 masih berupa vegetasi pada 2025, yaitu 3.945,58 ha atau 73,95%. Dari 1.390,08 ha vegetasi yang berubah kelas, 1.353,24 ha (97,35%) menjadi kawasan terbangun, 21,82 ha menjadi badan air, dan 15,02 ha menjadi lahan terbuka. Arus sebaliknya juga ada: 625,48 ha lahan menjadi vegetasi pada 2025, terutama dari lahan terbuka (479,14 ha), lalu badan air (81,36 ha) dan kawasan terbangun (64,98 ha). Selisih kedua arus inilah yang menghasilkan penurunan bersih vegetasi sebesar 764,60 ha.

Tabel 3. Matriks Transisi Tutupan Lahan Kota Jambi Tahun 2017–2025 (ha)

2017 \ 2025	Badan Air	Lahan Terbuka	Kawasan Terbangun	Vegetasi	Total 2017
Badan Air	773,25	32,70	25,56	81,36	912,87
Lahan Terbuka	37,01	6,24	2.077,32	479,14	2.599,71
Kawasan Terbangun	0,58	0,94	8.070,52	64,98	8.137,02
Vegetasi	21,82	15,02	1.353,24	3.945,58	5.335,66
Total 2025	**832,66**	**54,90**	**11.526,64**	**4.571,06**	**16.985,26**

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

Kawasan terbangun relatif stabil: 99,18% luasnya pada 2017 (8.070,52 ha) tetap berupa kawasan terbangun pada 2025. Tambahan seluas 3.456,12 ha (sebelum dikurangi 66,50 ha yang berubah ke kelas lain) berasal dari lahan terbuka (2.077,32 ha atau 60,11%), vegetasi (1.353,24 ha atau 39,16%), dan badan air (25,56 ha atau 0,74%). Perluasan kawasan terbangun di Kota Jambi dengan demikian sebagian besar bertumpu pada lahan yang pada 2017 terpetakan sebagai lahan terbuka, dan konversi vegetasi menyusul di urutan kedua. Dari lahan terbuka 2017, 79,91% berubah menjadi kawasan terbangun, 18,43% menjadi vegetasi, dan hanya 6,24 ha yang masih terbuka pada 2025. Gambar 4 memperlihatkan konversi vegetasi menjadi kawasan terbangun paling banyak di barat daya, selatan, dan sisi timur kota. Konversi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun tersebar dari tengah hingga barat daya pada bercak lahan terbuka 2017 yang terselip di antara kawasan terbangun, sedangkan perubahan lahan terbuka menjadi vegetasi terutama tampak di barat laut dan utara serta di jalur memanjang sisi timur, sejalan dengan penambahan vegetasi di Telanaipura dan Danau Teluk.



Gambar 4. Peta perubahan tutupan lahan Kota Jambi tahun 2017 sampai 2025 (tujuh kategori transisi)

Seluruh transisi pada Tabel 3 dan Gambar 4 adalah perubahan terdeteksi, yaitu piksel yang kelasnya berbeda antara dua peta, bukan perubahan aktual yang telah terverifikasi. Selisih kelas dapat berasal dari perubahan tutupan yang nyata, kesalahan klasifikasi pada 2017, atau kesalahan klasifikasi pada 2025. Akurasi produsen terboboti luas lahan terbuka 2025 hanya 0,02 (Tabel 6), sehingga sebagian piksel kawasan terbangun 2025 kemungkinan masih berupa lahan terbuka dan transisi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun (2.077,32 ha) kemungkinan melebihkan konversi yang sebenarnya terjadi. Pemeriksaan deskriptif pada 200 titik mendukung kehati-hatian ini: dari 15 titik yang berubah kelas menurut peta, hanya 3 yang juga berubah dengan arah yang sama menurut referensi, 2 berubah ke arah lain, dan 10 tidak berubah, sedangkan 16 titik yang tidak berubah menurut peta ternyata berubah menurut referensi. Jumlah titik perubahan itu kecil dan tidak dialokasikan menurut strata perubahan, sehingga transisi dibaca terbatas pada pola dominan dan arahnya.

Transisi dari vegetasi dibedakan menurut kelas tujuan karena maknanya berbeda. Konversi menjadi kawasan terbangun (1.353,24 ha) menghilangkan permukaan bervegetasi, sedangkan perubahan menjadi badan air dan lahan terbuka lebih mencerminkan dinamika genangan dan pembukaan lahan, sehingga pembahasan kehilangan vegetasi akibat pembangunan hanya memakai transisi vegetasi menjadi kawasan terbangun. Sebaliknya, dari 625,48 ha lahan yang menjadi vegetasi, 479,14 ha (76,6%) berasal dari lahan terbuka. Karena kelas vegetasi mencakup pula lahan pertanian, semak, dan vegetasi tergenang, kenaikan ini tidak ditafsirkan sebagai keberhasilan penghijauan. Penyebab lain yang mungkin adalah tumbuhnya

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

semak di lahan yang belum dibangun dan kebingungan klasifikasi antara lahan terbuka dan vegetasi pada produk Esri (Impact Observatory et al., n.d.).

3.3. Perubahan Tutupan Lahan pada Tingkat Kecamatan

Di tingkat kecamatan, penurunan vegetasi terbesar terjadi di Alam Barajo, dari 1.458,50 ha pada 2017 menjadi 1.008,83 ha pada 2025, atau berkurang 449,67 ha (−30,8%). Kota Baru menyusul dengan penurunan 388,55 ha (−48,5%), yang menurunkan proporsi vegetasinya dari 29,4% menjadi 15,1% luas kecamatan. Kedua kecamatan itu menyumbang 87,3% dari total penurunan di enam kecamatan yang kehilangan vegetasi; empat kecamatan lain yang menurun adalah Paal Merah (−70,71 ha), Jambi Timur (−32,76 ha), Pelayangan (−16,75 ha), dan Jambi Selatan (−1,49 ha) (Tabel 4). Lima kecamatan justru menambah vegetasi, yaitu Telanaipura (+114,93 ha), Danau Teluk (+70,67 ha), Danau Sipin (+3,81 ha), Jelutung (+3,69 ha), dan Pasar Jambi (+2,23 ha). Penambahan 195,33 ha ini hanya mengimbangi sebagian penurunan 959,93 ha di enam kecamatan lainnya sehingga penurunan bersih Kota Jambi tetap 764,60 ha.

Tabel 4. Perubahan Luas Vegetasi Setiap Kecamatan di Kota Jambi Tahun 2017 dan Tahun 2025

Kecamatan	Luas kecamatan (ha)	Vegetasi 2017 (ha)	Vegetasi 2025 (ha)	Δ Vegetasi (ha)	Δ Vegetasi (poin %)	Δ Vegetasi (% veg. 2017)
Kota Baru	2.725,67	800,80	412,25	−388,55	−14,26	−48,5
Alam Barajo	3.605,58	1.458,50	1.008,83	−449,67	−12,47	−30,8
Paal Merah	2.424,65	359,23	288,52	−70,71	−2,92	−19,7
Jambi Timur	1.367,39	538,76	506,00	−32,76	−2,40	−6,1
Pelayangan	1.069,24	685,55	668,80	−16,75	−1,57	−2,4
Jambi Selatan	760,19	6,80	5,31	−1,49	−0,20	−21,9
Jelutung	761,41	15,46	19,15	+3,69	+0,48	+23,9
Danau Sipin	727,64	57,87	61,68	+3,81	+0,52	+6,6
Pasar Jambi	167,01	3,95	6,18	+2,23	+1,34	+56,5
Danau Teluk	1.344,02	840,85	911,52	+70,67	+5,26	+8,4
Telanaipura	2.032,46	567,89	682,82	+114,93	+5,65	+20,2
Total Kota Jambi	**16.985,26**	**5.335,66**	**4.571,06**	**−764,60**	**−4,50**	**−14,3**

Keterangan: diurutkan dari penurunan vegetasi terbesar terhadap luas kecamatan; Δ = perubahan 2017–2025; poin % = poin persentase dari luas kecamatan

Perbandingan menurut hektare cenderung menempatkan kecamatan berluas besar pada urutan teratas, sehingga perubahan juga dinyatakan sebagai proporsi luas kecamatan dan terhadap vegetasi awal. Menurut ukuran ini Kota Baru mengalami tekanan terbesar: kehilangan 14,26 poin persentase luas kecamatan atau hampir separuh (48,5%) vegetasi awalnya, lebih tinggi daripada Alam Barajo (12,47 poin; 30,8%) yang terbesar dalam hektare. Paal Merah menyusul dengan 2,92 poin (19,7%). Persentase terhadap vegetasi awal di Jambi Selatan, Jelutung, dan Pasar Jambi tidak ditafsirkan karena berasal dari selisih hanya 1,49–3,69 ha. Kawasan terbangun bertambah di semua kecamatan, paling besar di Alam Barajo (+1.050,10 ha), Kota Baru (+989,26 ha), Telanaipura (+499,94 ha), dan Paal Merah (+425,41 ha). Pada 2025, proporsi kawasan terbangun tertinggi tercatat di Jambi Selatan (99,3%), Jelutung (97,5%), Paal Merah (88,1%), dan Kota Baru (84,7%), sedangkan yang terendah di Danau Teluk (19,0%) dan Pelayangan (24,6%) (Tabel 5).

Besarnya penurunan vegetasi di Alam Barajo dan Kota Baru berkaitan dengan ketersediaan lahan yang belum terbangun pada 2017: saat itu 57,6% luas Alam Barajo dan 51,6% luas Kota Baru belum terbangun. Kawasan terbangun di keduanya naik 1.050,10 ha dan 989,26 ha, lebih besar daripada penurunan vegetasinya (449,67 ha dan 388,55 ha), kemungkinan karena sebagian tambahan itu berasal dari lahan terbuka. Pola ini sesuai dengan temuan bahwa ekspansi kawasan terbangun di kota Indonesia cenderung bergerak ke pinggiran yang masih memiliki lahan terbuka atau bervegetasi (Dewantoro et al., 2020) dan dengan kajian di Kota Depok yang mengaitkan pertambahan penduduk dengan alih fungsi RTH menjadi kawasan terbangun (Gunadi et al., 2025). Penambahan vegetasi di Telanaipura dan Danau Teluk perlu dibaca bersama perubahan lahan terbuka: Telanaipura kehilangan lahan terbuka dari 609,35 ha menjadi 24,64 ha dan Danau Teluk dari 171,21 ha menjadi 5,17 ha. Sebagian lahan terbuka itu kemungkinan

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

menjadi vegetasi, tetapi belum tentu sebagai penghijauan yang disengaja karena dapat pula berupa semak atau vegetasi alami di lahan yang belum dibangun, atau selisih hasil klasifikasi antartahun.

3.4. Pembahasan dan Perbandingan dengan Kajian Sebelumnya

Hasil hitungan piksel mengindikasikan dua proses yang berjalan bersamaan, dengan catatan bahwa transisi yang melibatkan lahan terbuka sangat bergantung pada kualitas peta 2025 (subbab 3.5 dan 3.6). Pertama, kawasan terbangun mengisi bercak lahan terbuka di antara permukiman yang ada: 2.077,32 ha atau 60,11% tambahan kawasan terbangun. Kedua, kawasan terbangun merambah vegetasi di pinggiran barat daya dan selatan, dengan 1.353,24 ha (39,16%) vegetasi berubah menjadi kawasan terbangun (Gambar 4). Proses pertama menghabiskan cadangan lahan kosong, sedangkan proses kedua langsung mengurangi ruang hijau. Penurunan bersih vegetasi 764,60 ha juga menyembunyikan perubahan yang lebih besar, karena secara kotor 1.390,08 ha vegetasi berubah kelas dan 625,48 ha kelas lain menjadi vegetasi, sehingga angka bersih saja menilai kehilangan ruang hijau terlalu kecil.

Sebaran spasial ini selaras dengan kajian sebelumnya di Kota Jambi yang memakai data dan metode berbeda. Arrafi dan Salma (2025), dengan citra Landsat 8 periode 2016–2021, melaporkan pertambahan kawasan terbangun terutama di Kota Baru dan Alam Barajo serta perluasan ke arah barat daya, dan Mardalena et al. (2025), dengan klasifikasi *Random Forest*, mencatat pertumbuhan lahan terbangun yang cepat di Paal Merah, Alam Barajo, dan Kota Baru. Kecamatan yang sama muncul sebagai pusat pertambahan kawasan terbangun dalam penelitian ini (Tabel 5), sehingga sinyal spasialnya tampak konsisten lintas sensor, periode, dan metode. Mardalena et al. (2025) memproyeksikan lahan terbangun 11.892,52 ha (70,41%) pada 2033, sedangkan penelitian ini sudah memetakan 11.526,64 ha (67,86%) pada 2025; selisih itu dapat berarti pertumbuhan lebih cepat daripada proyeksi atau mencerminkan kecenderungan *Esri Land Cover* melebihkan kawasan terbangun (subbab 3.5), dan keduanya tidak dapat dibedakan di sini. Pola kecamatan juga sejalan dengan Simarmata et al. (2025), yang mencatat kenaikan suhu permukaan terbesar di Jambi Selatan, Jelutung, dan Paal Merah, kecamatan dengan proporsi kawasan terbangun tertinggi pada 2025, meskipun kesesuaian itu tidak membuktikan hubungan sebab-akibat. Kelas vegetasi di sini juga tidak setara dengan RTH publik yang dihitung studi lain dengan indeks vegetasi (Purboyo et al., 2021), dan pilihan data serta skema klasifikasi memengaruhi tafsir perubahan perkotaan (Kelly-Fair et al., 2022).

Keterkaitan perubahan dengan jaringan jalan, pusat aktivitas, dan kawasan pengembangan ditelaah di tingkat kecamatan dengan membandingkan tambahan kawasan terbangun dengan data kependudukan dan peran kecamatan dalam rencana tata ruang wilayah (RTRW) Kota Jambi 2024–2044 sebagaimana dirangkum dalam Peta Potensi Investasi Kota Jambi 2025–2026 (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu [DPMPTSP] Kota Jambi, 2025), yang juga memuat data kependudukan Badan Pusat Statistik. Telaah ini berupa tabulasi per kecamatan (Tabel 5), bukan tumpang susun spasial dengan jaringan jalan atau titik pusat aktivitas, sehingga hasilnya dibaca sebagai pola yang konsisten dengan data, bukan sebagai bukti sebab-akibat.

Tabel 5. Perubahan Kawasan Terbangun, Kependudukan, dan Peran Kecamatan dalam Rencana Tata Ruang

Kecamatan	Terb. 2017 (%)	Terb. 2025 (%)	Δ Terb. (ha)	Δ Terb. (poin %)	Laju pddk (%/th)	Kepadatan 2024 (jiwa/km²)	Peran dalam rencana tata ruang
Alam Barajo	42,4	71,6	+1.050,10	+29,12	1,86	3.223,61	Subpusat pelayanan (Kenali Besar); logistik, ritel, hunian baru
Kota Baru	48,4	84,7	+989,26	+36,29	1,77	3.144,61	Subpusat pelayanan (Kenali Asam Bawah); logistik, ritel, hunian baru
Telanaipura	27,8	52,4	+499,94	+24,60	0,59	2.473,63	Pusat pelayanan kota (pemerintahan provinsi)
Paal Merah	70,5	88,1	+425,41	+17,55	1,73	4.667,70	Bandara Sultan Thaha; logistik, ritel, hunian baru
Danau Teluk	9,7	19,0	+125,05	+9,30	0,57	973,74	Subpusat pelayanan (Olak Kemang); kawasan strategis sosial budaya
Jambi Timur	48,2	55,6	+100,83	+7,37	0,54	4.929,53	Subpusat pelayanan (Talang Banjar); kawasan strategis ekonomi
Pelayangan	16,6	24,6	+85,32	+7,98	0,56	1.235,04	Kawasan strategis sosial budaya (Kota Seberang)

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

Kecamatan	Terb. 2017 (%)	Terb. 2025 (%)	Δ Terb. (ha)	Δ Terb. (poin %)	Laju pddk (%/th)	Kepadatan 2024 (jiwa/km²)	Peran dalam rencana tata ruang
Danau Sipin	64,1	71,1	+50,76	+6,98	0,58	6.087,11	Kawasan strategis ekonomi
Pasar Jambi	69,1	86,5	+29,10	+17,42	0,55	6.837,72	Pusat pelayanan kota (perdagangan dan jasa skala nasional)
Jambi Selatan	96,9	99,3	+18,41	+2,42	1,17	7.828,73	Kawasan strategis ekonomi
Jelutung	95,5	97,5	+15,44	+2,03	0,56	7.965,47	Pusat pelayanan kota (pemerintahan kota); kawasan strategis ekonomi
Kota Jambi	**47,9**	**67,9**	**+3.389,62**	**+19,95**	**1,22**	**3.738,37**	**—**

Keterangan: diurutkan dari tambahan kawasan terbangun terbesar; Terb. = kawasan terbangun; pddk = penduduk; poin % = poin persentase dari luas kecamatan; Δ = perubahan 2017–2025 hasil hitungan piksel; laju penduduk 2020–2024, kepadatan 2024, dan peran kecamatan dari DPMPTSP Kota Jambi (2025). **Sumber:** Pengolahan data, 2026; DPMPTSP Kota Jambi (2025)

Pertambahan kawasan terbangun terkonsentrasi pada kecamatan dengan pertumbuhan penduduk tertinggi. Alam Barajo, Kota Baru, dan Paal Merah menyumbang 2.464,77 ha atau 72,7% dari tambahan kawasan terbangun pada peta (3.389,62 ha), dan ketiganya memiliki laju pertumbuhan penduduk 2020–2024 sebesar 1,73–1,86% per tahun, sedangkan kecamatan lain 0,54–1,17%. Pada 11 kecamatan, korelasi peringkat Spearman antara tambahan kawasan terbangun (ha) dan laju pertumbuhan penduduk adalah $\rho = 0{,}62$ ($p \approx 0{,}04$). Korelasi ini hanya menunjukkan keterkaitan karena unitnya hanya 11 kecamatan, periode data kependudukan (2020–2024) tidak sama dengan periode peta (2017–2025), dan arah sebab-akibatnya tidak dapat ditentukan.

Dari sisi tata ruang, RTRW 2024–2044 menetapkan Jalan Lingkar Barat, Lingkar Timur, Lingkar Utara, serta ruas Sultan Thaha dan Sudirman sebagai arteri primer, dan mengarahkan kawasan penyangga baru ke koridor jalan lingkar, wilayah timur, serta area pengembangan baru di barat dan selatan (DPMPTSP Kota Jambi, 2025). Tambahan kawasan terbangun pada peta, yang sebagian besar berada di pinggiran barat daya dan selatan, sejalan dengan arahan ke barat dan selatan, tetapi arahan ke timur belum tampak karena Jambi Timur hanya menambah 7,37 poin persentase. Mardalena et al. (2025) menemukan bahwa jarak dari jalan merupakan faktor paling berpengaruh terhadap ekspansi lahan terbangun di Kota Jambi, tetapi peran jaringan jalan di sini masih berupa dugaan yang perlu diuji dengan analisis jarak. Subpusat pelayanan Kenali Besar (Alam Barajo) dan Kenali Asam Bawah (Kota Baru) berada di dua kecamatan dengan tambahan terbesar, sedangkan Paal Merah, lokasi Bandara Sultan Thaha, naik dari 70,5% menjadi 88,1% terbangun, yang menunjukkan pengisian lahan di kawasan beraksesibilitas baik. Kecamatan inti yang padat sudah hampir seluruhnya terbangun sejak 2017 (Jambi Selatan 96,9% dan Jelutung 95,5%) dan hanya menambah 2,03–2,42 poin persentase. Telanaipura menambah 499,94 ha meskipun penduduknya hanya tumbuh 0,59% per tahun, kemungkinan karena perkantoran, jasa, dan fasilitas pemerintahan, tetapi dugaan ini belum diuji dan dipengaruhi ketidakpastian klasifikasi lahan terbuka.

Pertumbuhan terbesar justru terjadi di pinggiran tempat rencana tata ruang menetapkan subpusat dan area pengembangan baru, sementara RTRW sendiri mengarahkan pengendalian perluasan kota untuk mencegah *urban sprawl*. Kota Baru dan Alam Barajo karena itu paling memerlukan pengawasan kesesuaian pemanfaatan ruang dengan pola ruang, sedangkan Danau Teluk (+125,05 ha) dan Pelayangan (+85,32 ha) perlu dipantau tersendiri karena berkepadatan rendah, memuat kawasan strategis sosial budaya, dan rawan genangan musiman (DPMPTSP Kota Jambi, 2025). Telaah ini mendukung tafsir bahwa perubahan terdeteksi tidak acak, tetapi hubungannya belum dapat dikuantifikasi tanpa tumpang susun spasial jarak piksel yang berubah ke jaringan jalan dan pusat aktivitas serta kesesuaiannya dengan zonasi RTRW dan rencana detail tata ruang, yang menjadi langkah lanjutan penelitian ini.

3.5. Akurasi Data Tutupan Lahan

Penilaian akurasi memakai 200 titik referensi, 50 titik untuk setiap kelas peta, yang sama untuk kedua tahun. Akurasi keseluruhan terboboti luas adalah 75,9 ± 7,1% pada 2017 dan 78,6 ± 8,6% pada 2025, dengan koefisien kappa 0,64 dan 0,62 yang menunjukkan kesesuaian cukup baik. Bila dihitung langsung dari jumlah titik, akurasi keseluruhan sampel adalah 79,5% (selang kepercayaan Wilson 73,4–84,5%) dan 80,0% (73,9–85,0%). Selang kepercayaan kedua tahun tumpang tindih sehingga akurasi keseluruhan tidak

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

berbeda nyata antartahun. Matriks kesalahan memperlihatkan kelas yang sering keliru dipetakan sehingga membatasi tafsir hasil (Chowdhury, 2024; Tabel 6).

Tabel 6. Matriks Kesalahan Tahun 2017 dan Tahun 2025

	Tahun 2017 (referensi)					Tahun 2025 (referensi)				
Kelas peta	**Veg.**	**Terb.**	**Air**	**Terbuka**	**UA**	**Veg.**	**Terb.**	**Air**	**Terbuka**	**UA**
Vegetasi	44	0	0	6	0,88	41	1	0	8	0,82
Kawasan Terbangun	9	35	0	6	0,70	6	38	0	6	0,76
Badan Air	0	0	49	1	0,98	1	0	48	1	0,96
Lahan Terbuka	13	4	2	31	0,62	10	5	2	33	0,66
Total referensi	66	39	51	44	200	58	44	50	48	200
Akurasi produsen (PA)	0,69	0,96	0,90	0,50	–	0,73	0,99	1,00	0,02	–
Akurasi keseluruhan; kappa	0,76; 0,64					0,79; 0,62				

Keterangan: baris = kelas peta (*Esri Land Cover*), kolom = kelas referensi (*Google Earth Pro*); Veg. = vegetasi, Terb. = kawasan terbangun, Terbuka = lahan terbuka; UA = akurasi pengguna (dari jumlah titik); PA, akurasi keseluruhan, dan kappa dibobot dengan luas kelas peta. 50 titik per kelas peta

Badan air terpetakan paling baik (akurasi pengguna 0,98 pada 2017 dan 0,96 pada 2025, akurasi produsen 0,90 dan 1,00). Vegetasi memiliki akurasi pengguna 0,88 dan 0,82 tetapi akurasi produsen terboboti lebih rendah (0,69 dan 0,73): pada 2017 sebanyak 9 titik yang dipetakan sebagai kawasan terbangun dan 13 titik yang dipetakan sebagai lahan terbuka ternyata vegetasi pada citra *Google Earth*, dan pada 2025 sebanyak 6 dan 10 titik. Kawasan terbangun sebaliknya memiliki akurasi produsen tinggi (0,96 dan 0,99) tetapi akurasi pengguna lebih rendah (0,70 dan 0,76), karena 15 dari 50 titik pada 2017 dan 12 dari 50 titik pada 2025 ternyata vegetasi atau lahan terbuka. Kombinasi ini menunjukkan bahwa data Esri cenderung melebihkan kawasan terbangun dan mengurangi vegetasi, kemungkinan karena campuran piksel pada permukiman berpepohonan dan ruang hijau kecil yang lebarnya mendekati resolusi 10 m.

Lahan terbuka paling lemah. Akurasi penggunanya 0,62 pada 2017 dan 0,66 pada 2025: sekitar sepertiga titik yang dipetakan sebagai lahan terbuka ternyata vegetasi, kawasan terbangun, atau badan air. Akurasi produsen terboboti luasnya turun dari 0,50 pada 2017 menjadi 0,02 pada 2025. Pada 2025 peta hanya memuat 54,90 ha lahan terbuka, padahal 6 dari 50 titik yang dipetakan sebagai kawasan terbangun dan 8 dari 50 titik yang dipetakan sebagai vegetasi ternyata lahan terbuka pada citra referensi; karena kedua kelas itu mencakup lebih dari 94% wilayah, kesalahan sebesar itu setara dengan ratusan hingga ribuan hektare lahan terbuka yang tidak terpetakan. Luas lahan terbuka 2025 karena itu hampir pasti terlalu kecil, sehingga penurunan 97,89% dan transisi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun seluas 2.077,32 ha tidak dapat dibaca sebagai angka pasti.

Hasil uji lokal sejalan dengan perbandingan global. Venter et al. (2022) menemukan akurasi keseluruhan *Esri Land Cover* sebesar 75% pada data acuan global, dengan air (92%) dan kawasan terbangun (83%) terpetakan paling akurat dan lahan terbuka hanya 57%; penelitian ini memperoleh pola kelas serupa, dengan badan air paling akurat dan lahan terbuka paling lemah. Venter et al. (2022) juga menyarankan agar luas tidak diestimasi dari hitungan piksel saja, melainkan dengan estimasi berbasis desain sampel yang menyertakan ketidakpastian, dan koreksi itu diterapkan secara indikatif pada subbab 3.6. Hasil penelitian ini karena itu lebih layak dipakai untuk menunjukkan arah perubahan, yaitu vegetasi menurun dan kawasan terbangun meningkat, daripada besaran luas yang presisi, terutama di tingkat kecamatan dan pada kelas lahan terbuka. Darmawan dan Santoso (2024) sampai pada kesimpulan serupa untuk Bandar Lampung, bahwa klasifikasi citra satelit multitemporal efektif menggambarkan pola dan arah perubahan tutupan lahan skala kota.

Akurasi keseluruhan tidak menurun pada 2025 (75,9% menjadi 78,6%, kappa 0,64 menjadi 0,62, dengan selang kepercayaan yang tumpang tindih), sehingga peta 2025 tidak dapat dikatakan lebih buruk secara keseluruhan. Namun kualitasnya berbeda pada kelas tertentu: akurasi produsen lahan terbuka turun dari 0,50 menjadi 0,02, akurasi pengguna vegetasi turun dari 0,88 menjadi 0,82, dan akurasi pengguna kawasan terbangun naik dari 0,70 menjadi 0,76. Karena perubahan dihitung dari selisih dua peta yang kualitas per kelasnya tidak setara, sebagian penurunan lahan terbuka dan kenaikan kawasan terbangun merupakan akibat lahan terbuka yang pada 2025 tidak terpetakan, bukan perubahan permukaan bumi. Dampaknya paling besar pada angka luas lahan terbuka dan transisi yang melibatkannya, dan lebih kecil pada arah umum perubahan yang bertahan pada estimasi terkoreksi (subbab 3.6). Untuk penataan ruang,

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

angka perubahan luas karena itu tidak layak dijadikan target, garis dasar, atau indikator capaian kebijakan, dan hanya layak dipakai untuk menentukan prioritas wilayah dengan verifikasi citra resolusi tinggi atau survei lapangan sebelum keputusan diambil.

3.6. Estimasi Luas Terkoreksi dan Implikasinya bagi Keandalan Perubahan

Tabel 7 membandingkan luas hasil hitungan piksel dengan estimasi luas terkoreksi matriks kesalahan. Pada 2025, luas lahan terbuka diestimasi 2.167,5 ± 1.149,5 ha (12,76%), jauh di atas 54,90 ha (0,32%) pada peta, karena 8 dari 50 titik yang dipetakan sebagai vegetasi dan 6 dari 50 titik yang dipetakan sebagai kawasan terbangun ternyata lahan terbuka. Luas kawasan terbangun 2025 diestimasi 8.857,2 ± 1.390,0 ha (52,15%), lebih kecil daripada 11.526,64 ha (67,86%) pada peta, karena 12 dari 50 titik yang dipetakan sebagai kawasan terbangun ternyata vegetasi atau lahan terbuka (masing-masing 6 titik). Kecenderungan serupa terjadi pada 2017, ketika kawasan terbangun diestimasi 5.903,9 ± 1.062,6 ha, di bawah 8.137,02 ha pada peta. Luas vegetasi diestimasi lebih besar daripada peta pada kedua tahun (40,25% pada 2017 dan 30,37% pada 2025, dibandingkan 31,41% dan 26,91%).

Tabel 7. Luas Hasil Hitungan Piksel dan Estimasi Luas Terkoreksi Matriks Kesalahan

Kelas	Peta 2017 (ha)	Terkoreksi 2017 (ha ± 95% CI)	Peta 2025 (ha)	Terkoreksi 2025 (ha ± 95% CI)	Δ peta (ha)	Δ terkoreksi (ha)
Vegetasi	5.335,66	6.836,0 ± 1.050,6	4.571,06	5.159,1 ± 1.158,8	−764,60	−1.676,9 ± 1.564,2
Kawasan Terbangun	8.137,02	5.903,9 ± 1.062,6	11.526,64	8.857,2 ± 1.390,0	+3.389,62	+2.953,3 ± 1.749,6
Badan Air	912,87	998,6 ± 147,1	832,66	801,5 ± 45,8	−80,21	−197,1 ± 154,0
Lahan Terbuka	2.599,71	3.246,8 ± 953,9	54,90	2.167,5 ± 1.149,5	−2.544,81	−1.079,3 ± 1.493,7
Total	**16.985,26**	**16.985,3**	**16.985,26**	**16.985,3**	**0**	**0**

Keterangan: CI = selang kepercayaan 95% pada sampel 200 titik berstrata kelas peta (50 titik per kelas); CI selisih menganggap estimasi kedua tahun independen sehingga cenderung terlalu lebar

Dengan estimasi terkoreksi, perubahan bersih 2017–2025 adalah −1.676,9 ± 1.564,2 ha untuk vegetasi, +2.953,3 ± 1.749,6 ha untuk kawasan terbangun, −197,1 ± 154,0 ha untuk badan air, dan −1.079,3 ± 1.493,7 ha untuk lahan terbuka. Tiga temuan bertahan pada kedua pendekatan, dengan selang kepercayaan yang tidak mencakup nol: vegetasi menurun, kawasan terbangun bertambah, dan badan air menurun. Besarnya berbeda: pertambahan kawasan terbangun terkoreksi sekitar 87% dari angka hitungan piksel, sedangkan penurunan vegetasi terkoreksi lebih dari dua kali lipat angka hitungan piksel. Penurunan lahan terbuka terkoreksi hanya sekitar 42% dari angka hitungan piksel dan selang kepercayaannya mencakup nol, sehingga lahan terbuka tidak dapat dinyatakan menyusut hampir habis, dan pernyataan bahwa sebagian besar kawasan terbangun baru berasal dari lahan terbuka tidak dapat dipertahankan sebagai temuan pasti.

Estimasi ini harus dibaca dengan hati-hati. Pertama, selang kepercayaan 95% masih lebar, yaitu ±954 hingga ±1.390 ha pada kelas vegetasi, kawasan terbangun, dan lahan terbuka, karena setiap kelas peta hanya diwakili 50 titik. Kedua, hanya 15 dari 200 titik yang berubah kelas menurut peta sehingga estimasi selisih bertumpu pada estimasi tiap tahun dan tidak menguji transisi itu sendiri. Ketiga, selang kepercayaan selisih menganggap kedua tahun independen padahal titiknya sama sehingga cenderung terlalu lebar. Hasilnya karena itu berfungsi sebagai pembanding yang memperlihatkan arah dan perkiraan besar bias peta, bukan pengganti angka luas.

3.7. Implikasi bagi Perencanaan dan Keterbatasan Penelitian

Penurunan vegetasi terdeteksi sebesar 764,60 ha dalam delapan tahun menandakan berkurangnya tutupan vegetasi di Kota Jambi, dan estimasi terkoreksi menunjukkan arah yang sama dengan ketidakpastian yang lebar. Proporsi vegetasi yang menurun dari 31,41% menjadi 26,91% tidak boleh dibaca sebagai capaian RTH. Kelas vegetasi dalam penelitian ini adalah tutupan vegetasi total yang mencakup lahan pertanian, semak, dan vegetasi tergenang tanpa membedakan status RTH publik atau privat. Persentase vegetasi karena itu tidak dibandingkan dengan target 30%, dan penilaian ketercapaian RTH memerlukan pemisahan RTH publik dan privat berdasarkan data peruntukan ruang. Hasil penelitian ini lebih tepat dipakai sebagai indikator awal tekanan terhadap vegetasi untuk memprioritaskan pengawasan pemanfaatan ruang di Kota Baru dan Alam Barajo, yang mengalami penurunan terbesar baik

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

dalam hektare maupun dalam proporsi luas kecamatan. Evaluasi perubahan penggunaan lahan terhadap rencana tata ruang juga diperlukan agar perkembangan kawasan terbangun sesuai alokasi ruang yang direncanakan (Libriyanto et al., 2022).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data *Esri Land Cover* dihasilkan otomatis oleh model global sehingga tidak dikalibrasi khusus untuk karakteristik lokal Kota Jambi, dan produsennya sendiri mengingatkan bahwa hasil pada skala sangat lokal dapat bervariasi (Esri, 2026). Kedua, satu piksel 10 m sering berisi campuran permukaan sehingga pohon peneduh jalan, taman lingkungan, pekarangan, dan jalur hijau yang lebarnya mendekati atau kurang dari 10 m tidak terdeteksi sebagai vegetasi tersendiri, sementara permukiman berpepohonan cenderung terklasifikasi sebagai kawasan terbangun; ruang hijau kota yang kecil dan tersebar, yang penting bagi fungsi RTH, karena itu kurang terwakili, dan perbedaan resolusi memengaruhi kemampuan mendeteksi petak vegetasi kecil (Dhawi et al., 2026). Ketiga, selisih antartahun dapat memuat perubahan yang bersumber dari perbedaan hasil model, terutama pada lahan terbuka yang turun 97,89% padahal akurasi produsennya pada 2025 hanya 0,02. Keempat, 200 titik dengan alokasi sama per kelas peta tidak memungkinkan akurasi diuji per kecamatan maupun akurasi transisi diestimasi, dan galat baku akurasi keseluruhan (3,6–4,4%) masih di atas sasaran 2%. Kelima, kelas vegetasi menggabungkan empat kelas asli sehingga pohon, lahan pertanian, semak, dan vegetasi tergenang tidak dapat dibedakan. Keenam, kelas referensi dari interpretasi visual pada *Google Earth Pro* bergantung pada ketersediaan dan tanggal citra serta penilaian interpreter, tanpa verifikasi lapangan. Ketujuh, keterkaitan perubahan dengan jaringan jalan, pusat aktivitas, dan kawasan pengembangan ditelaah secara tabulasi pada 11 kecamatan (subbab 3.4), belum dengan tumpang susun spasial berbasis jarak, dan periode data kependudukan tidak sama dengan periode peta sehingga hubungan sebab-akibatnya tidak diuji.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hitungan piksel, tutupan vegetasi Kota Jambi menurun dari 31,41% pada 2017 menjadi 26,91% pada 2025 (berkurang 764,60 ha), sementara kawasan terbangun naik 3.389,62 ha hingga mencapai 67,86% luas wilayah. Konversi vegetasi menjadi kawasan terbangun seluas 1.353,24 ha menjadi penyebab utama berkurangnya vegetasi, sedangkan sebagian besar tambahan kawasan terbangun pada peta (2.077,32 ha) berasal dari lahan terbuka, transisi yang sangat dipengaruhi kesalahan klasifikasi lahan terbuka 2025. Tekanan terbesar terhadap vegetasi terjadi di Kota Baru (−14,3 poin persentase) dan Alam Barajo (−12,5 poin), sedangkan tambahan kawasan terbangun terkonsentrasi di Alam Barajo, Kota Baru, dan Paal Merah (72,7%), kecamatan dengan pertumbuhan penduduk tertinggi dan arah pengembangan perdagangan, logistik, serta hunian baru menurut rencana tata ruang.

Akurasi keseluruhan terboboti luas dan koefisien kappa masing-masing 75,9% dan 0,64 pada 2017 serta 78,6% dan 0,62 pada 2025, tanpa perbedaan nyata antartahun, dengan akurasi terendah pada lahan terbuka dan kecenderungan melebihkan kawasan terbangun. Data tutupan lahan Sentinel-2 dari Esri layak dipakai untuk membaca arah perubahan pada skala kota, yaitu vegetasi menurun dan kawasan terbangun meningkat, arah yang juga muncul pada estimasi luas terkoreksi. Namun besaran luas tidak layak diperlakukan sebagai angka pasti: estimasi terkoreksi menunjukkan pertambahan kawasan terbangun sekitar 2.953 ha, bukan 3.390 ha, dan tidak mengonfirmasi hilangnya lahan terbuka. Penelitian ini tidak menguji hubungan sebab-akibat ekspansi kawasan terbangun dengan pertumbuhan penduduk maupun faktor pendorong lainnya.

Pemerintah Kota Jambi sebaiknya memprioritaskan pengawasan pemanfaatan ruang di Kota Baru dan Alam Barajo dengan memverifikasi lokasi konversi pada citra resolusi tinggi atau survei lapangan, dan tidak memakai persentase vegetasi sebagai ukuran ketercapaian target RTH 30%. Produk *Esri Land Cover* dapat dipakai sebagai alat pemantauan awal tahunan asalkan diverifikasi dengan data referensi lokal dan tidak dijadikan dasar angka target luas. Penelitian lanjutan perlu menambah titik referensi hingga sekitar 430 titik dengan alokasi per kelas peta dan strata perubahan, memisahkan subkelas vegetasi dan RTH, serta menguji secara spasial keterkaitan perubahan dengan jaringan jalan, pusat aktivitas, dan pola ruang rencana tata ruang.

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

5. REFERENSI

Agustiyara, A., Mutiarin, D., Nurmandi, A., Kasiwi, A. N., & Ikhwali, M. F. (2025). Mapping urban green spaces in Indonesian cities using remote sensing analysis. *Urban Science*, *9*(2), Article 23. https://doi.org/10.3390/urbansci9020023

Arrafi, M., & Salma, N. F. (2025). Monitoring fenomena urban sprawl dan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan citra Landsat 8 di Kota Jambi. *Geomedia: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, *23*(2), 67–75. https://doi.org/10.21831/gm.v23i2.67239

Cardille, J. A., Crowley, M. A., Saah, D., & Clinton, N. E. (Eds.) (2024). *Cloud-based remote sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and applications*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26588-4

Chaudhuri, A. S., Singh, P., & Rai, S. C. (2018). Modelling LULC change dynamics and its impact on environment and water security: Geospatial technology based assessment. *Ecology, Environment and Conservation*, *24*, S292–S298.

Chowdhury, S. (2024). Comparison of accuracy and reliability of Random Forest, Support Vector Machine, Artificial Neural Network and Maximum Likelihood method in land use/cover classification of urban setting. *Environmental Challenges*, *14*, Article 100800. https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100800

Darmawan, A., & Santoso, T. (2024). Mapping urban transformation: The Random Forest algorithm to monitor land use and land cover change in Bandar Lampung City. *Jurnal Sylva Lestari*, *12*(3), 980–997. https://doi.org/10.23960/jsl.v12i3.960

Dewantoro, B. E. B., Natani, P. A., & Islamiah, Z. (2020). Spatial monitoring of urban development direction using Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS in Balikpapan City, Indonesia. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, *9*(4).

Dharmawan, I. A., Rahadianto, M. A. E., Henry, E., Endyana, C., & Aufaristama, M. (2021). Application of high-resolution remote-sensing data for land use land cover mapping of university campus. *The Scientific World Journal*, *2021*, Article 5519011. https://doi.org/10.1155/2021/5519011

Dhawi, F., Ghafoor, A., & Alkhaldi, N. A. (2026). An integrated framework combining multi-resolution satellite data, deep learning, and process-based modeling for urban carbon accounting. *Frontiers in Environmental Science*, *14*, Article 1787442. https://doi.org/10.3389/fenvs.2026.1787442

Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Kota Jambi. (2025). *Peta profil potensi dan peluang investasi Kota Jambi tahun 2025–2026: Laporan akhir*. Pemerintah Kota Jambi. https://mpp.jambikota.go.id/dokumen/file/8cb7711d-366a-4784-b466-bc73666bcde7

Esri. (2026). Latest land cover data release shows more change over time. *ArcNews*. https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/latest-land-cover-data-release-shows-more-change-over-time

Gascon, F., Bouzinac, C., Thépaut, O., Jung, M., Francesconi, B., Louis, J., Lafrance, B., Massera, S., Gaudel-Vacaresse, A., Languille, F., Alhammoud, B., Viallefont, F., Pflug, B., Bieniarz, J., Clerc, S., Pessiot, L., Trémas, T., Cadau, E., De Bonis, R., ... Fernandez, V. (2017). Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. *Remote Sensing*, *9*(6), Article 584. https://doi.org/10.3390/rs9060584

Gunadi, S. P., Syartinilia, & Pravitasari, A. E. (2025). Analisis perubahan tutupan ruang terbuka hijau di Kota Depok. *Journal of Regional and Rural Development Planning (Jurnal Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan)*, *9*(1), 14–28.

Hamoodi, M. N., Corner, R., & Dewan, A. (2019). Thermophysical behaviour of LULC surfaces and their effect on the urban thermal environment. *Journal of Spatial Science*, *64*(1), 111–130.

Impact Observatory, Microsoft, & Esri. (n.d.). *10m Annual Land Use Land Cover (9-class)* [Data set]. Registry of Open Data on AWS. https://registry.opendata.aws/io-lulc/

Jaelani, L. M. (2026). *Konsep dasar penginderaan jauh*. Penerbit LITPAM.

Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. In *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS* (pp. 4704–4707). IEEE. https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

Kelly-Fair, M., Gopal, S., Koch, M., Pancasakti Kusumaningrum, H., Helmi, M., Khairunnisa, D., & Kaufman, L. (2022). Analysis of land use and land cover changes through the lens of SDGs in Semarang, Indonesia. *Sustainability*, *14*(13), Article 7592. https://doi.org/10.3390/su14137592

Li, D., Wu, S., Liang, Z., & Li, S. (2020). The impacts of urbanization and climate change on urban vegetation dynamics in China. *Urban Forestry & Urban Greening*, *54*, Article 126764.

Libriyanto, O., Pravitasari, A. E., & Ardiansyah, M. (2022). Dynamics and predictions of land-use changes in Serang Raya and their conformity to the spatial plan of Banten Province. *Jurnal Geografi*, *14*(1), 33. https://doi.org/10.24114/JG.V14I1.24441

Mardalena, A., Supriatna, S., & Dimyati, M. (2025). Pemodelan spasial lahan terbangun Kota Jambi. *Majalah Geografi Indonesia*, *39*(1), 9–18. https://doi.org/10.22146/mgi.98027

Nicolau, A. P., Dyson, K., Saah, D., & Clinton, N. E. (2024). Accuracy assessment: Quantifying classification quality. In J. A. Cardille, M. A. Crowley, D. Saah, & N. E. Clinton (Eds.), *Cloud-based remote sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and applications* (pp. 135–147). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26588-4_7

Pangestu, D., Sunariya, M., & Anggani, N. (2025). Utilization of NDVI analysis in fulfilling Green Open Space in Balaraja District, Tangerang Regency in 2023. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1438*(1), Article 012027. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1438/1/012027

Panwar, M., Sharma, R., Mina, U., & Verma, N. (2026). University campus green spaces' potential for biodiversity conservation and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *14*, Article 1886362. https://doi.org/10.3389/fevo.2026.1886362

Prawira, G. I., Sutoyo, & Putra, H. (2025). Analysis of green space changes at Gunung Gede–Cilibende Campus using Geographic Information System. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, *10*(1), 55–64. https://doi.org/10.29244/jsil.10.1.55-64

Priyanta, M., & Zulkarnain, C. S. A. (2024). Urban green open space in developing countries: Indonesia regulations, problems and alternative solutions. *Journal of Property, Planning and Environmental Law*, *16*(2), 134–151. https://doi.org/10.1108/JPPEL-01-2024-0002

Purboyo, A. A., Ramadhan, A. H., Safitri, E., Ridwana, R., & Himayah, S. (2021). Identification of Green Open Spaces using the Normalized Difference Vegetation Index in Depok City. *Jurnal Sains Informasi Geografi (J SIG)*, *4*(1), 12–21.

Rifai, A., Rakuasa, H., Tade, F., Purnama, A., Jufriansah, A., & Khusnani, A. (2025). Spatial analysis of vegetation index in Ambon City center area, Indonesia using Sentinel-2 satellite imagery in Google Earth Engine. *Frontiers in Sustainable Science and Technology*, *2*(1), 32–40. https://doi.org/10.69930/fsst.v2i1.365

Simarmata, A. R., Achmad, E., Harmes, & Purnama, E. S. (2025). Surface temperature variations due to land cover changes in Jambi City: A comparative study of 2013 and 2024. *Jurnal Hutan Tropika*, *20*(2), 274–282. https://doi.org/10.36873/jht.v20i2.23262

Stehman, S. V., & Foody, G. M. (2019). Key issues in rigorous accuracy assessment of land cover products. *Remote Sensing of Environment*, *231*, Article 111199. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.018

Turner, B. L., Lambin, E. F., & Verburg, P. H. (2021). From land-use/land-cover to land system science. *Ambio*, *50*(7), 1291–1294. https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4

Ustaoglu, E., & Williams, B. (2017). Determinants of urban expansion and agricultural land conversion in 25 EU countries. *Environmental Management*, *60*(4), 717–746. https://doi.org/10.1007/s00267-017-0908-2

Venter, Z. S., Barton, D. N., Chakraborty, T., Simensen, T., & Singh, G. (2022). Global 10 m land use land cover datasets: A comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover. *Remote Sensing*, *14*(16), Article 4101. https://doi.org/10.3390/rs14164101

Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *13*, Article 3778.

Zhu, Z., Qiu, S., & Ye, S. (2022). Remote sensing of land change: A multifaceted perspective. *Remote Sensing of Environment*, *282*, Article 113266. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113266

Copyright © 2026 The Authors. Published by Department of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo
This work is licensed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.