

Monitoring Dan Proyeksi Perkembangan Wilayah Perkotaan di Pulau Kalimantan Menggunakan Data VIIRS *Night-time Lights*

Abimanyu Yudo Kuncoro, Soni Darmawan

Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia

Koresponden email: soni_darmawan@itenas.ac.id, abimanyuyudok@gmail.com

Diterima: 22 Juli 2026

Disetujui: 27 Juli 2026

Abstract

Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band (VIIRS-DNB) is a remote sensing technology capable of acquiring Night-time Lights (NTL) data, which can be used to represent nighttime human activities and monitor urbanization and regional development. This study aims to analyze the spatial and temporal dynamics of Night-time Lights (NTL) across Kalimantan Island during the 2012–2024 period and to project regional development through 2045. The analysis was performed using NOAA VIIRS Night-time Lights (VCMCFG) data processed in Google Earth Engine. Temporal trends were analyzed using linear regression, while urban areas were extracted through a thresholding approach applied to the Night-time Lights (NTL) data. The results show that the average Night-time Lights (NTL) intensity increased from 0.093 nW/cm²/sr in 2012 to 0.386 nW/cm²/sr in 2024, with an R² value of 0.93. During the same period, the urban area expanded from 760 km² to 2,344 km², representing an increase of 208.42%. At the provincial level, East Kalimantan recorded the largest urban area 1,114 km², while Central Kalimantan experienced the highest urban growth rate 541.03%. The linear regression model projects that the urban area will reach approximately 4,405 km² by 2045. These findings indicate that Night-time Lights (NTL) data can be used as an effective indicator for monitoring urban development and supporting regional development planning across Kalimantan Island.

Keywords: *night-time lights ; viirs-dnb; urban areas; linear regression; kalimantan island*

Abstrak

Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band (VIIRS-DNB) merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh yang menghasilkan data *Night-time Lights* (NTL), yang dapat dimanfaatkan untuk menggambarkan aktivitas manusia pada malam hari serta memantau urbanisasi dan perkembangan wilayah. Penelitian ini bertujuan menganalisis dinamika spasial dan temporal *Night-time Lights* (NTL) di Pulau Kalimantan selama periode 2012–2024 serta memproyeksikan perkembangan wilayah hingga tahun 2045. Analisis dilakukan menggunakan data VIIRS *Night-time Lights* (VCMCFG) dari NOAA yang diolah melalui Google Earth Engine. Tren temporal dianalisis menggunakan regresi linear, sedangkan kawasan urban diekstraksi melalui pendekatan thresholding terhadap data *Night-time Lights* (NTL). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa rata-rata intensitas *Night-time Lights* (NTL) meningkat dari 0,093 nW/cm²/sr pada tahun 2012 menjadi 0,386 nW/cm²/sr pada tahun 2024 dengan nilai R² sebesar 0,93. Pada periode yang sama, luas kawasan urban bertambah dari 760 km² menjadi 2.344 km² atau meningkat sebesar 208,42%. Pada tingkat provinsi Kalimantan Timur memiliki luas kawasan urban terbesar 1.114 km², sedangkan Kalimantan Tengah mencatat laju pertumbuhan kawasan urban tertinggi 541,03%. Model regresi linear memproyeksikan luas kawasan urban mencapai sekitar 4.405 km² pada tahun 2045. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa data *Night-time Lights* (NTL) dapat dimanfaatkan sebagai indikator untuk memantau perkembangan kawasan urban serta mendukung perencanaan pembangunan wilayah di Pulau Kalimantan.

Kata kunci: *night-time lights; viirs-dnb; kawasan urban; regresi linear; pulau kalimantan*

1. Pendahuluan

Perkembangan wilayah perkotaan sebenarnya jadi salah satu cerminan paling jelas dari dinamika pembangunan suatu daerah. Perubahan itu tidak terjadi begitu saja, ada banyak faktor yang menggerakkannya, mulai dari pertumbuhan penduduk, arus urbanisasi, pembangunan infrastruktur, sampai pertumbuhan ekonomi yang terus bergerak. Semua faktor itu saling berhubungan, dan pada akhirnya bermuara pada satu hal yang kasat mata, yaitu perubahan penggunaan lahan dan meluasnya kawasan terbangun. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya informasi soal perubahan wilayah yang muncul, sebab data semacam ini nantinya jadi salah satu pijakan dalam perencanaan tata ruang, pengelolaan sumber daya, hingga penyusunan kebijakan pembangunan yang berkelanjutan [1], [3].

Selama ini indikator perkembangan wilayah biasanya diukur menggunakan jumlah penduduk, kepadatan, atau PDRB. Angka-angka itu memang bisa menggambarkan kondisi wilayah secara statistik, namun belum sepenuhnya merepresentasikan aspek spasial perkembangan wilayah. Perubahan yang terjadi di lapangan bersifat dinamis dan kompleks sehingga tidak selalu dapat dijelaskan hanya melalui data statistik. Untungnya teknologi penginderaan jauh terus berkembang, dan ini membuka celah baru untuk memanfaatkan data observasi bumi sebagai sumber informasi yang lebih konsisten serta mencakup wilayah yang jauh lebih luas [4], [7].

Salah satu data yang cukup populer dipakai untuk mengamati perkembangan wilayah adalah *Night-time Lights* (NTL), citra yang merekam cahaya buatan pada malam hari hasil dari berbagai aktivitas manusia. Logikanya sederhana, semakin terang cahaya yang terekam, maka tinggi pula aktivitas di wilayah tersebut, entah itu berkaitan dengan kawasan terbangun, ekonomi, atau denyut kehidupan perkotaan lainnya [6]. Karena hubungan inilah NTL sering dipakai sebagai *proxy indicator* untuk menggambarkan tingkat urbanisasi dan perkembangan suatu wilayah [1], [5], [9].

Pemanfaatan NTL makin meluas sejak hadirnya sensor VIIRS yang dibawa satelit Suomi-NPP. Dibanding pendahulunya, DMSP/OLS, sensor VIIRS ini jauh lebih unggul dari segi kualitas radiometrik maupun resolusi spasial, sehingga distribusi cahaya malam bisa direkam dengan tingkat ketelitian yang jauh lebih baik [7], [15]. Berkat keunggulan itu, data VIIRS pun makin sering dijadikan alat untuk memantau perkembangan kawasan perkotaan, perubahan kawasan terbangun, dan dinamika pembangunan di berbagai skala wilayah [5], [10].

Pulau Kalimantan dipilih sebagai lokasi penelitian bukan tanpa alasan. Beberapa tahun terakhir wilayah ini mengalami perkembangan yang cukup pesat, terlihat dari pembangunan infrastruktur, kawasan industri, pertambangan, sampai pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur yang ikut mengubah pola pemanfaatan ruang dan perkembangan kawasan perkotaan. Dampaknya pun diperkirakan tidak berhenti di sekitar IKN saja, tapi merembet ke wilayah-wilayah lain di Kalimantan [1], [9].

Beberapa penelitian sebelumnya sudah menunjukkan kalau NTL memang bisa dimanfaatkan untuk mengamati perkembangan wilayah [1], [4], [9]. Namun kalau ditelusuri lebih jauh, kebanyakan penelitian itu masih terbatas pada satu sisi saja, entah fokus ke tren temporal atau ke perubahan kawasan terbangun [5], [10]. Penelitian yang menggabungkan analisis temporal, ekstraksi kawasan urban, sekaligus proyeksi perkembangan wilayah dalam satu rangkaian, masih jarang ditemukan [4], [8], [9]. Padahal ketiga hal ini saling berkaitan erat, dan kalau digabungkan justru bisa memberi gambaran yang lebih utuh soal dinamika serta arah perkembangan suatu wilayah [9], [10].

Meski pemanfaatan NTL terus berkembang, kajian yang menghubungkan perubahan intensitas cahaya malam, perkembangan kawasan urban, sekaligus kecenderungan wilayah di masa depan, masih terbilang minim, apalagi untuk Pulau Kalimantan [5], [9], [10]. Sementara itu, Kalimantan sendiri sedang mengalami banyak perubahan akibat pembangunan infrastruktur, berkembangnya kawasan industri, dan pembangunan IKN. Kondisi semacam ini menegaskan bahwa analisis yang dibutuhkan bukan cuma menengok ke belakang, tapi juga mampu memproyeksikan arah perkembangan wilayah ke depan. Harapannya, informasi semacam ini bisa mendukung penyusunan kebijakan pembangunan dan perencanaan tata ruang yang lebih pas dengan dinamika perkembangan wilayah yang terjadi [3], [9].

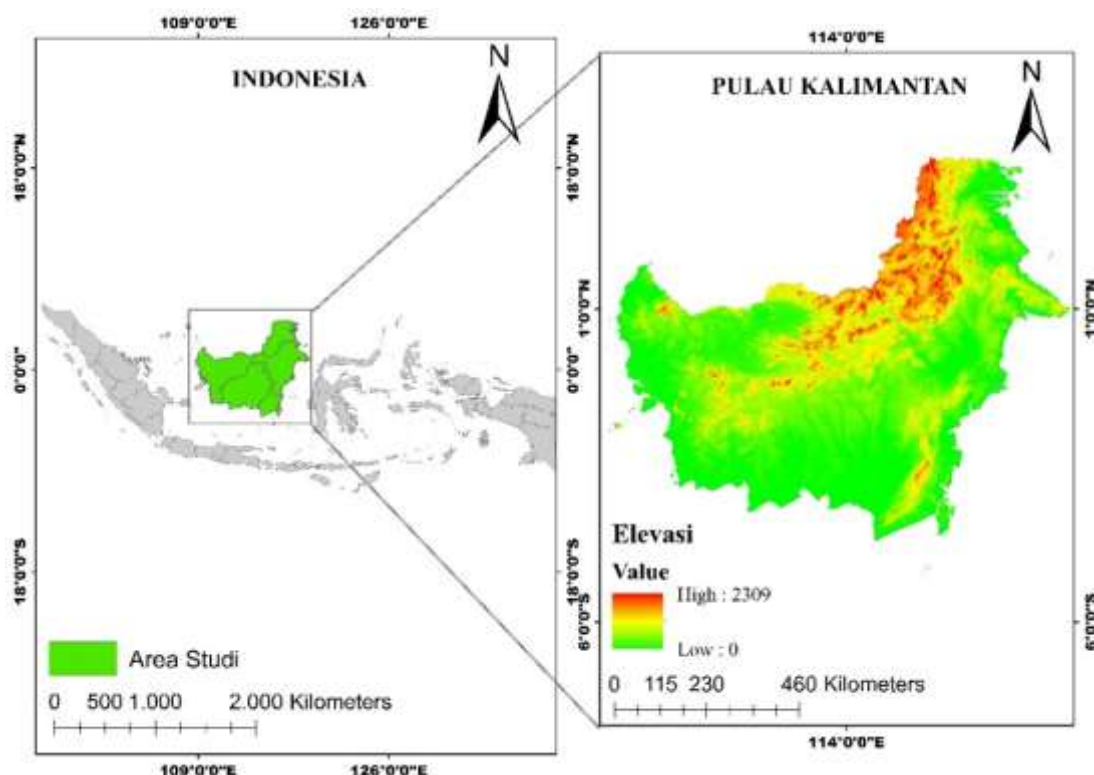
Penelitian ini sendiri bertujuan untuk menganalisis dinamika spasial dan temporal NTL di Pulau Kalimantan sepanjang 2012–2024, sambil mengidentifikasi perubahan kawasan urban berdasarkan data VIIRS *Night-time Lights* dan memproyeksikan perkembangan wilayah hingga tahun 2045 pakai pendekatan regresi linear [9], [12]. Yang membedakan penelitian ini, analisis temporal NTL, ekstraksi kawasan urban berbasis radiansi VIIRS, dan pemodelan regresi linear digabung jadi satu alur, sehingga hubungan antara perubahan intensitas NTL, perkembangan kawasan urban, dan kecenderungan wilayah sampai 2045 bisa dipahami secara lebih menyeluruh. Harapannya, hasil penelitian ini bisa memberi gambaran pola perkembangan wilayah di Kalimantan, yang nantinya berguna sebagai salah satu sumber informasi buat perencanaan tata ruang dan pembangunan berkelanjutan, termasuk di kawasan IKN [5], [9], [10].

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pulau Kalimantan, Indonesia, yang terdiri dari 5 provinsi, yaitu Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Pulau Kalimantan ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena dalam beberapa tahun terakhir mengalami perkembangan wilayah yang cukup pesat, dimana perkembangan tersebut didorong oleh meningkatnya pembangunan infrastruktur, berkembangnya kawasan industri dan pertambangan, serta pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur yang turut memengaruhi dinamika perkembangan kawasan

perkotaan [2]. Kondisi tersebut menjadikan Pulau Kalimantan sebagai wilayah yang relevan untuk menganalisis dinamika perkembangan wilayah menggunakan data *Night-time Lights* (NTL). Wilayah penelitian ditampilkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Wilayah Penelitian

2.2 Data Penelitian

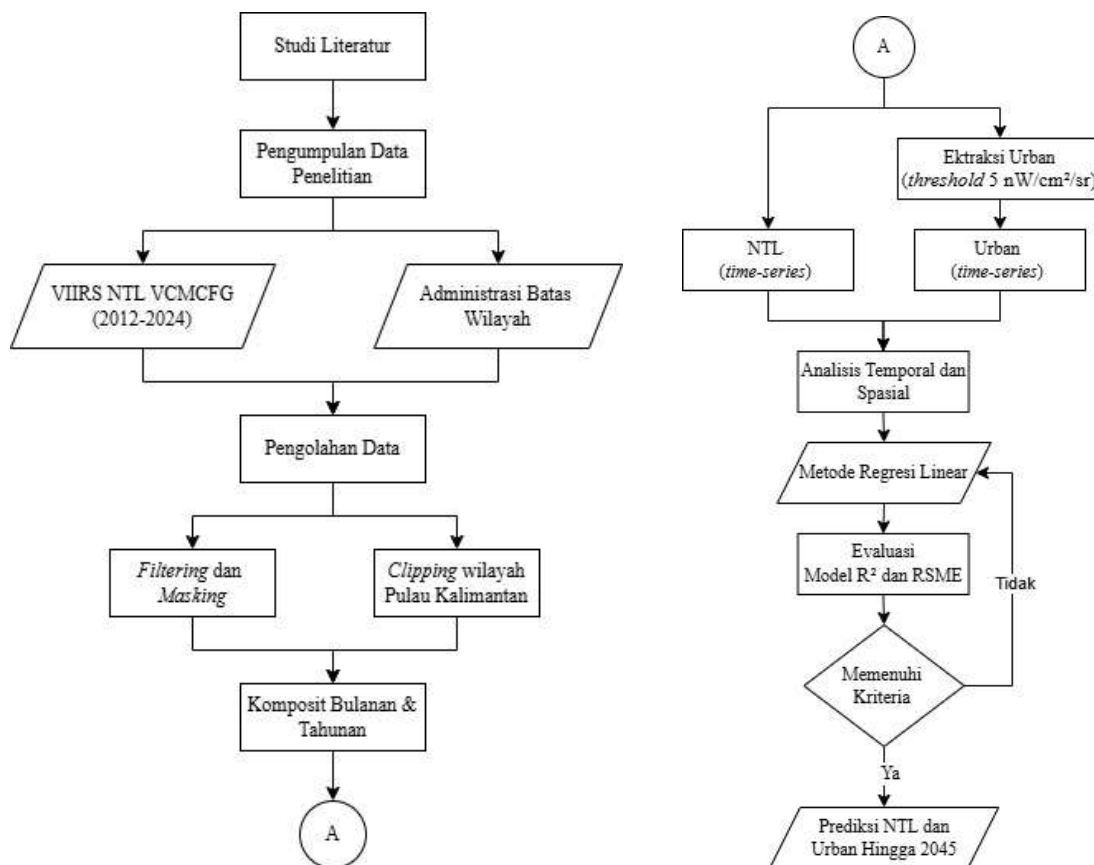
Penelitian ini menggunakan data *Night-time Lights* (NTL) bulanan dari sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band* (VIIRS-DNB) yang diperoleh melalui Google Earth Engine (GEE) dengan dataset berupa *VIIRS Night-time Lights* (NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMCFG). Dataset tersebut memiliki resolusi spasial 463,83 m dengan nilai radiansi dalam satuan $nW/cm^2/sr$ yang digunakan untuk menganalisis dinamika temporal serta perkembangan kawasan urban di Pulau Kalimantan. Selain data *Night-time Lights* (NTL), penelitian ini juga menggunakan data batas administrasi Pulau Kalimantan sebagai wilayah analisis. Informasi yang digunakan dalam penelitian ditampilkan di **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Penelitian

No	Data	Sumber	Resolusi	Periode
1	VIIRS <i>Night-time Lights</i> (VCMCFG)	NOAA Earth Observation Group melalui Google Earth Engine	463,83 m	2012–2024
2	Batas Administrasi Kalimantan	BIG/BPS	-	2024

2.3 Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan, yaitu pra-pemrosesan data, analisis temporal dan spasial, pemodelan regresi linear, evaluasi model, ekstraksi kawasan urban, serta proyeksi perkembangan wilayah hingga tahun 2045. Seluruh tahapan pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan Google Earth Engine (GEE). Alur penelitian ini secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3.1 Pra-pemrosesan Data

Pra-pemrosesan merupakan tahap awal yang dilakukan untuk menyiapkan data *Night-time Lights* (NTL) sebelum dianalisis. Data yang digunakan berupa data *Night-time Lights* (NTL) bulanan dari sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band* (VIIRS-DNB) yang diperoleh melalui Google Earth Engine (GEE) menggunakan dataset *VIIRS Night-time Lights* (NOAA/VIIRS/DNB/MONTHLY_V1/VCMCFG) untuk periode 2012–2024. Dataset tersebut memiliki band *avg_rad* yang merepresentasikan nilai radiansi serta *cf_cvg* sebagai indikator kualitas cakupan pengamatan. Tahap pra-pemrosesan diawali dengan pemilihan data sesuai periode penelitian, kemudian dilanjutkan dengan pembatasan wilayah analisis menggunakan batas administrasi Pulau Kalimantan. Selanjutnya dilakukan proses *filtering* dan *masking* untuk mengurangi pengaruh *noise* serta mempertahankan data dengan kualitas pengamatan yang lebih baik. Setelah itu, seluruh data dipotong (*clipping*) sesuai batas wilayah penelitian dan dikompositkan menjadi data tahunan menggunakan nilai *mean* pada setiap tahun pengamatan. Komposit tahunan tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis temporal, ekstraksi kawasan urban, dan pemodelan regresi.

2.3.2 Analisis Time-Series dan Regresi Linear

Untuk memantau perubahan intensitas *Night-time Lights* (NTL) serta luas kawasan urban di Pulau Kalimantan sepanjang 2012–2024, dengan melakukan analisis *time-series*. Data yang sudah melalui pra-pemrosesan disusun berurutan sesuai tahun pengamatan, sehingga perubahan dari tahun ke tahun bisa ditelusuri satu per satu, tidak acak. Dari susunan itu, pola perubahan NTL dan luas kawasan urban jadi kelihatan, baik untuk Kalimantan secara keseluruhan maupun tiap provinsi secara terpisah, dan hasilnya digunakan untuk membandingkan perkembangan antarwilayah sepanjang periode penelitian. Selanjutnya, buat mengetahui perubahan tersebut, digunakan analisis regresi linear sederhana, yang tidak hanya menunjukkan ke mana tren bergerak tapi juga jadi landasan untuk menyusun proyeksi perkembangan sampai tahun 2045. Dalam analisis ini, tahun pengamatan ditempatkan sebagai variabel independen (X), sedangkan nilai rata-rata NTL atau luas kawasan urban berperan sebagai variabel dependen (Y), dengan persamaan regresi linearnya ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Y = a + bX \quad (1)$$

Pada Persamaan (1), Y merupakan nilai rata-rata *Night-time Lights* (NTL) atau luas kawasan urban yang diprediksi, sedangkan X merupakan tahun pengamatan. Nilai a menunjukkan intersep (konstanta), sedangkan b merupakan koefisien regresi (*slope*) yang menunjukkan besarnya perubahan nilai Y setiap tahun [13]. Nilai koefisien regresi (*slope*) dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$b = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

Persamaan (2) digunakan untuk menghitung nilai koefisien regresi (*slope*). Pada persamaan tersebut, X_i menyatakan tahun pengamatan ke- i , sedangkan Y_i merupakan nilai *Night-time Lights* (NTL) atau luas kawasan urban pada tahun ke- i . Simbol $\bar{X}$ dan $\bar{Y}$ masing-masing menunjukkan nilai rata-rata tahun pengamatan dan rata-rata data hasil pengamatan, sedangkan $\sum$ menyatakan penjumlahan seluruh data. Nilai *slope* yang diperoleh kemudian digunakan untuk membentuk persamaan regresi linear sebagai dasar dalam penyusunan proyeksi perkembangan *Night-time Lights* (NTL) dan luas kawasan urban tahun 2045 [13].

2.3.3 Evaluasi Model

Model regresi linear yang sudah diperoleh tadi kemudian dievaluasi lagi buat melihat sejauh mana kemampuannya merepresentasikan data hasil pengamatan. Evaluasi yang digunakan terdiri dari koefisien determinasi (R^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai R^2 sendiri menggambarkan seberapa besar variasi data yang bisa dijelaskan oleh model regresi tersebut, sementara RMSE dipakai buat mengukur seberapa jauh selisih antara nilai hasil prediksi dengan data observasi aslinya. Persamaan koefisien determinasinya bisa dilihat pada Persamaan (3).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (3)$$

Pada Persamaan (3), R^2 merupakan koefisien determinasi, Y_i merupakan nilai aktual, $\hat{Y}_i$ merupakan nilai hasil prediksi, sedangkan $\bar{Y}$ adalah nilai rata-rata data hasil pengamatan. Nilai R^2 berada pada rentang 0–1. Semakin mendekati 1, semakin besar kemampuan model dalam menjelaskan variasi data hasil pengamatan [13].

Selain menggunakan R^2 , evaluasi model juga dilakukan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (4)$$

Pada Persamaan (4), n menyatakan jumlah data pengamatan, Y_i merupakan nilai aktual, $\hat{Y}_i$ merupakan nilai hasil prediksi, sedangkan $\bar{Y}$ menunjukkan nilai rata-rata data hasil pengamatan. Jika nilai RMSEnya kecil, semakin bagus kemampuan model dalam menggambarkan data hasil pengamatannya [13].

Hasil evaluasi menggunakan nilai R^2 dan RMSE kemudian digunakan sebagai dasar untuk menilai kelayakan model sebelum diterapkan pada tahap proyeksi perkembangan *Night-time Lights* (NTL) dan luas kawasan urban hingga tahun 2045 [8], [11].

2.3.4 Ekstraksi Kawasan Urban

Ekstraksi kawasan urban menggunakan data tahunan *Night-time Lights* (NTL) hasil pra-pemrosesan. Proses ini menggunakan pendekatan *thresholding* untuk membedakan kawasan urban dan non-urban berdasarkan nilai radiansi *Night-time Lights* (NTL). Nilai *threshold* ditentukan dengan mengacu pada pendekatan yang dikemukakan oleh Dou dkk. [14] serta disesuaikan dengan karakteristik wilayah Pulau Kalimantan sehingga hasil klasifikasi dapat merepresentasikan kondisi kawasan urban dengan lebih baik. Proses klasifikasi tersebut dinyatakan pada Persamaan (5).

$$U(x) = \begin{cases} 1, & NTL(x) \geq 5 \\ 0, & NTL(x) < 5 \end{cases} \quad (5)$$

Pada Persamaan (5), $U(x)$ menunjukkan hasil klasifikasi piksel berdasarkan nilai *Night-time Lights* ($NTL(x)$), dengan nilai 1 menunjukkan kawasan urban dan nilai 0 menunjukkan kawasan non-urban.

Dalam penelitian ini digunakan nilai *threshold* sebesar 5 nW/cm²/sr. Luas kawasan urban dihitung berdasarkan jumlah piksel yang terklasifikasi sebagai urban, kemudian dikonversi ke satuan kilometer persegi (km²) menggunakan luas spasial piksel VIIRS. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menganalisis perubahan kawasan urban serta sebagai masukan dalam analisis regresi linear dan proyeksi perkembangan wilayah hingga tahun 2045.

2.3.5 Proyeksi Perkembangan Wilayah Tahun 2045

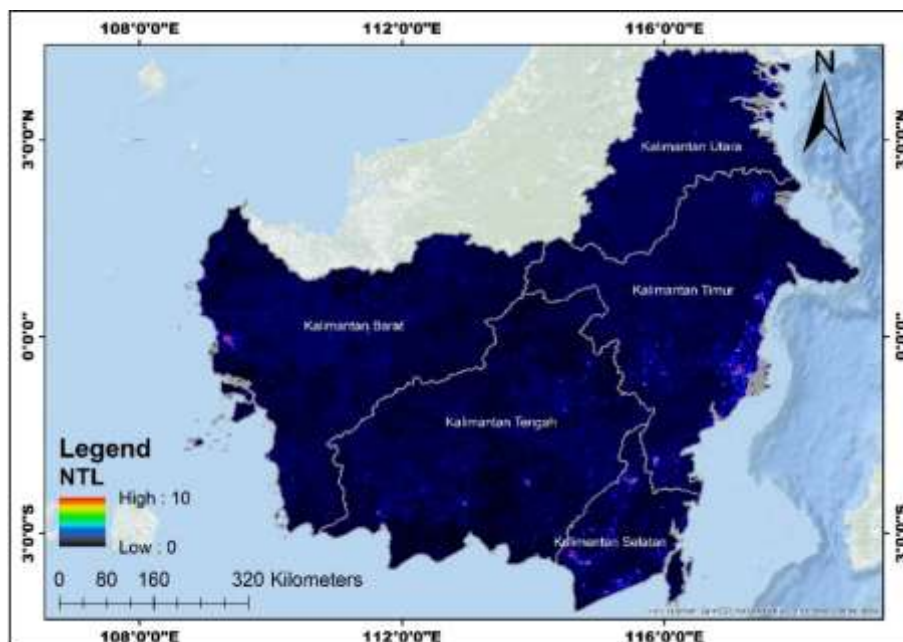
Proyeksi perkembangan wilayah hingga tahun 2045 dilakukan menggunakan model regresi linear sederhana berdasarkan data *Night-time Lights* (NTL) tahunan periode 2012–2024. Model regresi yang telah dijelaskan pada Subbab 2.3.2 diterapkan pada setiap piksel citra NTL sehingga hubungan antara tahun pengamatan dan nilai radiansi dapat diperoleh secara temporal. Parameter regresi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memperkirakan nilai radiansi *Night-time Lights* (NTL) pada tahun 2045 untuk seluruh wilayah penelitian. Hasil prediksi tersebut berupa citra NTL tahun 2045 yang menggambarkan distribusi spasial intensitas cahaya malam di Pulau Kalimantan pada periode mendatang. Melalui visualisasi ini, wilayah yang diperkirakan mengalami peningkatan maupun penurunan aktivitas dapat diidentifikasi berdasarkan perubahan intensitas cahaya malam dibandingkan dengan kondisi pada periode pengamatan.

Selanjutnya, citra *Night-time Lights* (NTL) hasil prediksi tahun 2045 diklasifikasikan menjadi kawasan urban dan non-urban menggunakan nilai *threshold* yang sama seperti pada proses ekstraksi kawasan urban di Subbab 2.3.4, yaitu sebesar 5 nW/cm²/sr. Proses klasifikasi tersebut menghasilkan peta prediksi kawasan urban tahun 2045 yang digunakan untuk menganalisis potensi perkembangan wilayah perkotaan di Pulau Kalimantan dan masing-masing provinsi. Setelah proses klasifikasi selesai, dilakukan perhitungan luas kawasan urban hasil prediksi tahun 2045. Nilai luas tersebut kemudian dibandingkan dengan kondisi tahun 2024 untuk melihat perubahan dan pertumbuhan kawasan urban yang diproyeksikan terjadi hingga tahun 2045. Hasil proyeksi selanjutnya disajikan dalam bentuk peta dan grafik sebagai gambaran perkembangan *Night-time Lights* (NTL) serta kawasan urban di masa mendatang.

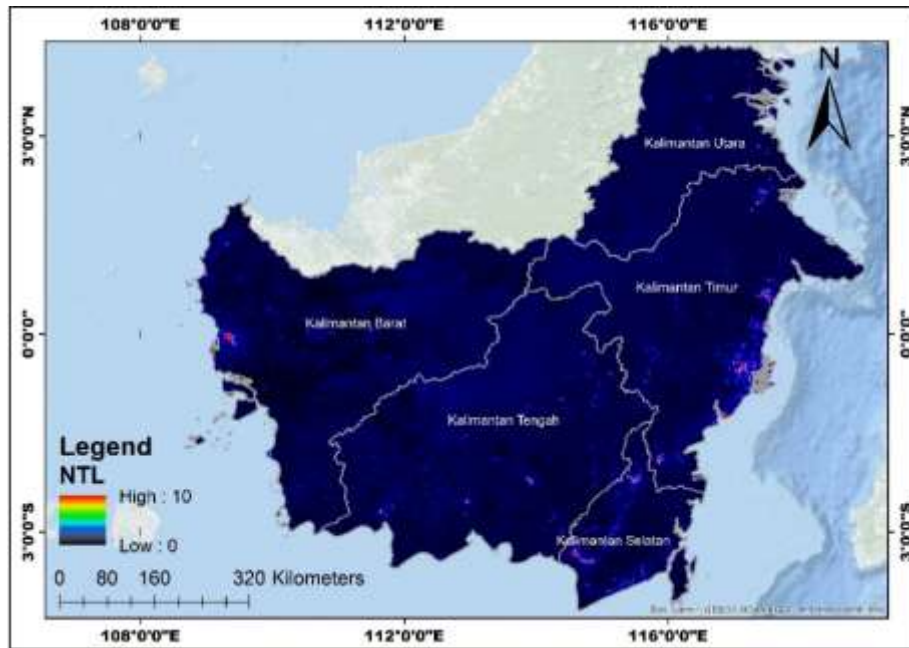
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Distribusi Temporal dan Spasial *Night-time Lights* (NTL) Periode 2012–2024

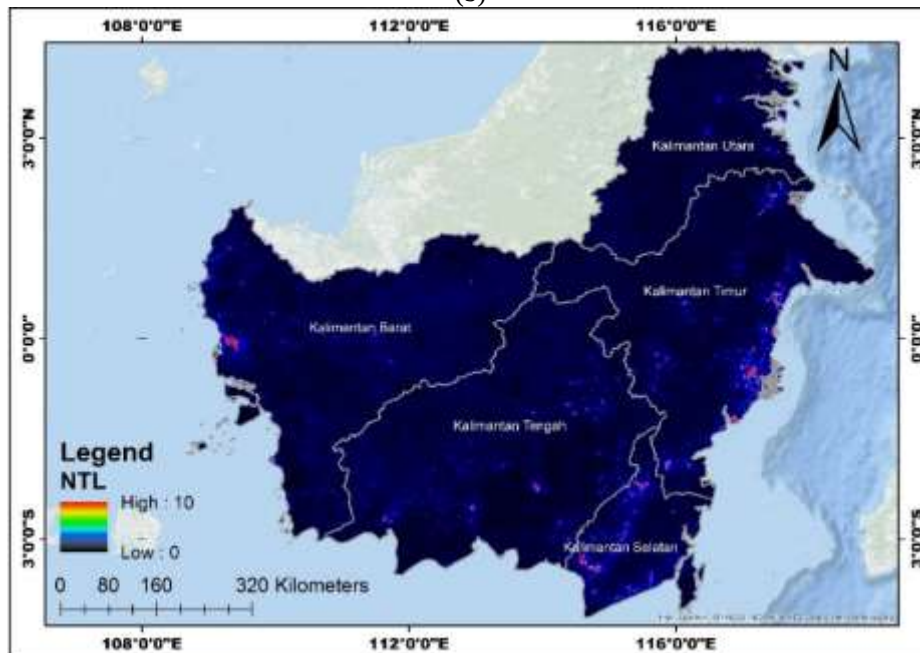
Distribusi spasial *Night-time Lights* (NTL) di Pulau Kalimantan pada tahun 2012, 2016, 2020, dan 2024 disajikan pada **Gambar 3**. Peta ini memberikan gambaran mengenai perubahan intensitas dan sebaran cahaya malam selama periode penelitian sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengamati perkembangan wilayah secara spasial.



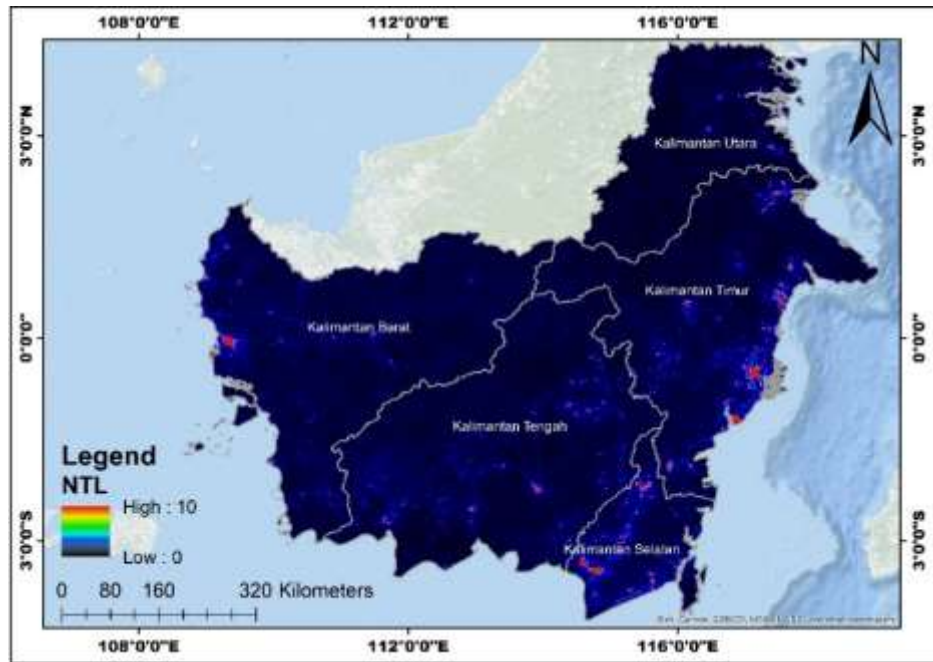
(a)



(b)



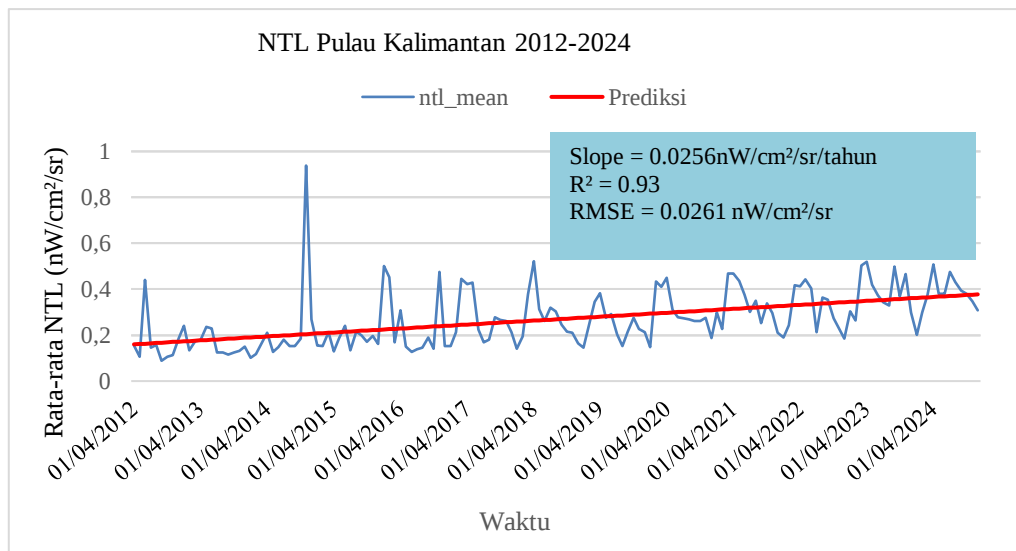
(c)



(d)

Gambar 3. *Night-time Lights (NTL)* (a) Tahun 2012, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2020, (d) Tahun 2024

Secara visual dari **Gambar 3** sebaran cahaya malam terlihat semakin meluas selama periode 2012–2024. Peningkatan ini paling jelas terlihat di kawasan perkotaan, wilayah pesisir, dan beberapa pusat pertumbuhan. Sementara itu, sebagian besar wilayah pedalaman masih menunjukkan intensitas cahaya yang relatif rendah. Pola tersebut mengindikasikan bahwa perkembangan wilayah lebih banyak terjadi pada daerah yang memiliki aktivitas pembangunan dan ekonomi yang lebih tinggi [5], [10]. Perubahan rata-rata intensitas *Night-time Lights (NTL)* di Pulau Kalimantan selama periode 2012–2024 disajikan pada **Gambar 4**. Grafik tersebut digunakan untuk melihat perubahan intensitas cahaya malam dari tahun ke tahun sebagai indikator perkembangan wilayah.



Gambar 4. *Time-Series Bulanan Night-time Light (NTL) 2012-2024*

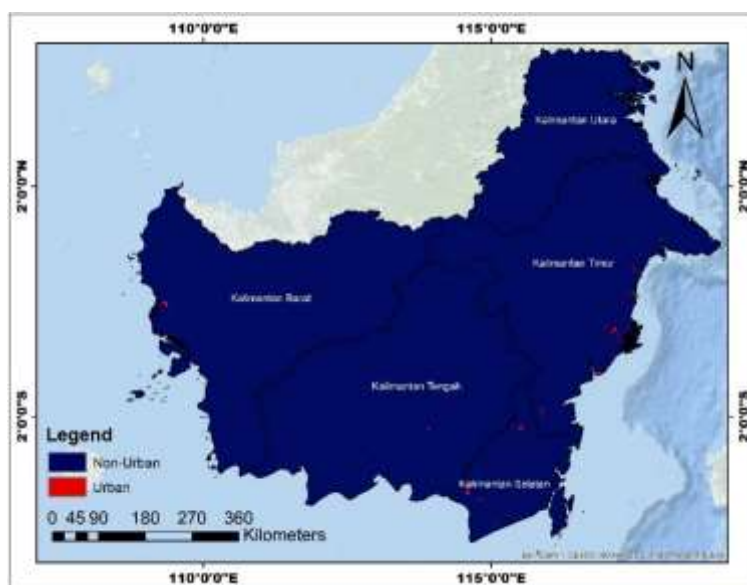
Dari **Gambar 4**, nilai rata-rata intensitas *Night-time Lights (NTL)* terus naik sepanjang 2012 sampai 2024. Pada tahun 2012, nilainya masih di angka 0,093 nW/cm²/sr, lalu naik perlahan menjadi 0,142 nW/cm²/sr pada 2016. Tren kenaikan ini tidak berhenti sampai di situ, terus berlanjut hingga menyentuh 0,305 nW/cm²/sr di tahun 2020, dan akhirnya mencapai 0,386 nW/cm²/sr pada 2024. Memang ada beberapa periode yang sempat naik turun, tapi secara keseluruhan arah polanya tetap konsisten menuju tren yang meningkat.

Hasil pemodelan regresi linearnya sendiri menunjukkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,93, dengan *Root Mean Square Error* (RMSE) 0,0261 nW/cm²/sr. Angka R^2 yang tinggi ini artinya model mampu menjelaskan sebagian besar variasi perubahan intensitas *Night-time Lights* (NTL), sementara RMSE yang kecil menandakan hasil prediksinya cukup dekat dengan data pengamatan sebenarnya. Dengan kata lain, model regresi yang digunakan ini cukup baik untuk menggambarkan kecenderungan perubahan *Night-time Lights* (NTL) sepanjang periode penelitian [9], [12].

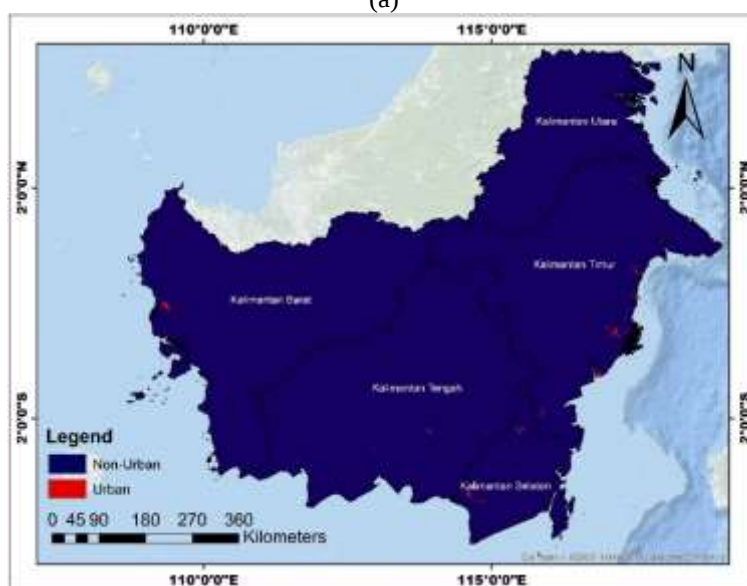
Naiknya intensitas *Night-time Lights* (NTL) ini semacam sinyal bahwa aktivitas di Pulau Kalimantan terus berkembang selama periode penelitian berlangsung. Diduga kondisi ini berkaitan dengan bertambahnya kawasan terbangun, meningkatnya pembangunan infrastruktur, dan meningkatnya aktivitas ekonomi di sejumlah wilayah sejalan dengan pandangan bahwa naiknya intensitas *Night-time Lights* (NTL) bisa mencerminkan perkembangan kawasan perkotaan dan aktivitas manusia secara umum [16].

3.2 Dinamika Perkembangan Kawasan Urban Pulau Kalimantan

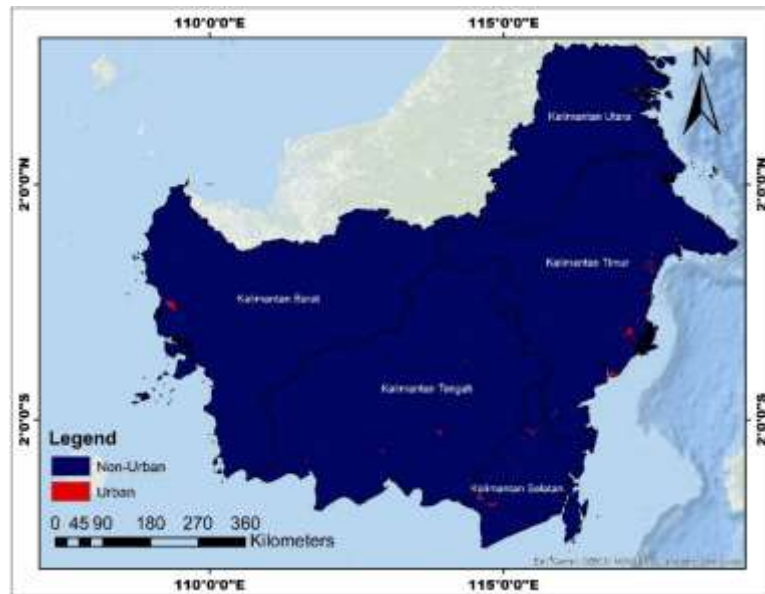
Hasil ekstraksi kawasan urban di Pulau Kalimantan untuk tahun 2012, 2016, 2020, dan 2024 ditampilkan pada **Gambar 5**. Dari visualisasi tersebut, terlihat bagaimana sebaran kawasan urban berubah sepanjang periode penelitian, sehingga bisa dipakai untuk mengamati perkembangan kawasan terbangun secara spasial.



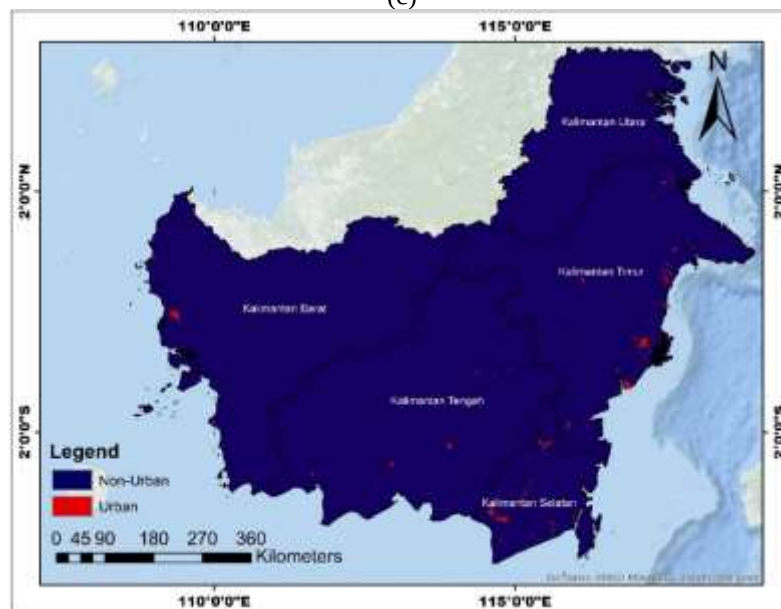
(a)



(b)



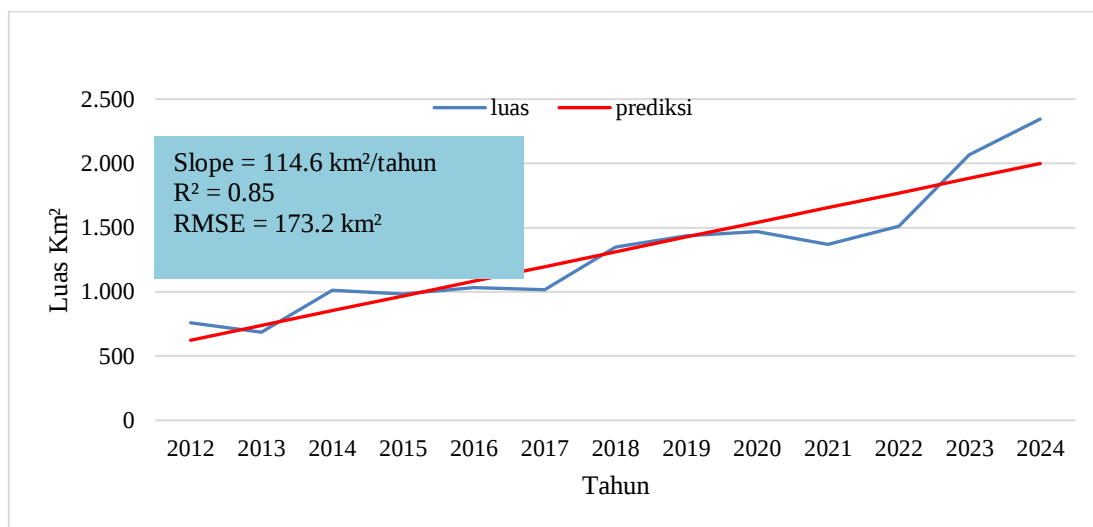
(c)



(d)

Gambar 5. Luas Kawasan Urban Pulau Kalimantan (a) Tahun 2012, (b) Tahun 2016, (c) Tahun 2020, (d) Tahun 2024

Secara visual pada **Gambar 5** kawasan urban di Pulau Kalimantan mengalami perubahan selama periode 2012–2024. Pada tahun 2012 pengamatan kawasan urban masih terkonsentrasi di beberapa kota utama dan wilayah pesisir. Seiring berjalannya waktu sebaran kawasan urban terlihat semakin meluas hingga tahun 2024. Meskipun perkembangan ini tidak terjadi secara merata di seluruh wilayah yang sebagian besar wilayah pedalaman masih didominasi oleh kawasan non-urban, sedangkan pertumbuhan kawasan urban lebih banyak terlihat pada daerah yang memiliki aktivitas pembangunan serta infrastruktur yang lebih berkembang. Perubahan tersebut dianalisis berdasarkan luas kawasan urban pada setiap tahun pengamatan yang hasilnya disajikan pada **Gambar 6** untuk memperlihatkan perubahan luas kawasan urban selama periode 2012–2024.

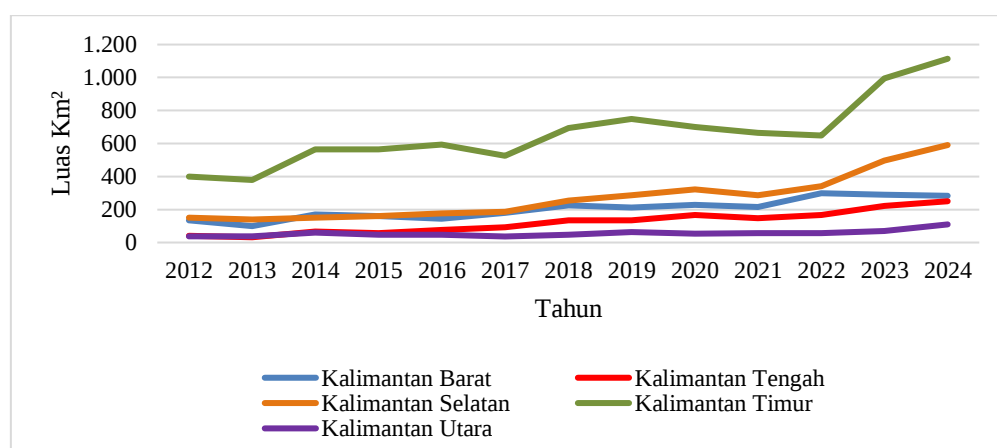


Gambar 5. Luas Kawasan Urban Pulau Kalimantan 2012-2024

Luas kawasan urban di Pulau Kalimantan pada **Gambar 6** menunjukkan kecenderungan meningkat sepanjang tahun 2012–2024. Dari yang tadinya cuma 760 km² di tahun 2012, luasnya bertambah jadi 2.344 km² pada 2024. Memang di beberapa tahun perubahannya tidak terlalu besar, tapi kalau dilihat secara keseluruhan, polanya tetap mengarah ke peningkatan. Kondisi ini menandakan bahwa perkembangan kawasan terbangun di Pulau Kalimantan masih terus berlangsung, sejalan dengan makin meningkatnya aktivitas pembangunan di wilayah tersebut.

Garis regresi pada Gambar 6 pun turut memperlihatkan kecenderungan naiknya luas kawasan urban dari tahun ke tahun. Hasil pemodelannya menghasilkan nilai slope sebesar 114,6 km²/tahun, koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,85, dan Root Mean Square Error (RMSE) sebesar 173,2 km². Nilai R^2 ini menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi perubahan luas kawasan urban, sementara RMSE yang relatif kecil menandakan hasil prediksinya cukup dekat dengan data pengamatan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model regresi yang dipakai sudah cukup memadai dalam menggambarkan tren perkembangan kawasan urban [9], [12].

Setelah melihat gambaran perkembangan kawasan urban pada skala Pulau Kalimantan, analisis kemudian dilanjutkan ke tingkat provinsi, guna mengetahui perbedaan pola pertumbuhan di masing-masing wilayah. Perbandingan perkembangan kawasan urban antarprovinsi ini disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 6. Perkembangan Luas Kawasan Urban pada Setiap Provinsi

Berdasarkan **Gambar 7**, bahwa seluruh provinsi di Pulau Kalimantan menunjukkan peningkatan luas kawasan urban selama periode 2012–2024, meskipun laju pertumbuhannya berbeda pada setiap wilayah. Hal ini terlihat pada tahun 2018 terdapat peningkatan yang cukup signifikan dan terus berlanjut hingga tahun 2024. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa perkembangan kawasan terbangun masih berlangsung di seluruh provinsi, tetapi dengan karakteristik pertumbuhan yang berbeda.

Kalimantan Timur merupakan provinsi dengan luas kawasan urban terbesar selama periode penelitian. Luas kawasan urban di provinsi ini meningkat secara konsisten dan terlihat semakin pesat dalam beberapa tahun terakhir. Kondisi tersebut sejalan dengan meningkatnya aktivitas pembangunan di Kalimantan Timur, termasuk pengembangan kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN) yang diikuti oleh pembangunan infrastruktur dan kawasan terbangun di wilayah sekitarnya, sementara itu Kalimantan Selatan mengalami peningkatan yang cukup tinggi [5], [10]. Di sisi lain, Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah menunjukkan pertumbuhan yang lebih bertahap, sedangkan Kalimantan Utara masih memiliki luas kawasan urban paling kecil, tetapi trennya tetap meningkat hingga akhir periode pengamatan.

Selain membandingkan perkembangan kawasan urban pada setiap provinsi, evaluasi terhadap model regresi juga dilakukan untuk melihat sejauh mana model mampu merepresentasikan tren perubahan kawasan urban. Hasil evaluasi tersebut disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Model Regresi Luas Kawasan Urban per Provinsi Periode 2012–2024

No	Provinsi	Slope	R ²	RMSE
1	Kalimantan Barat	14.93	0.87	21.636
2	Kalimantan Tengah	17.10	0.93	16.686
3	Kalimantan Selatan	32.72	0.82	56.172
4	Kalimantan Timur	46.40	0.75	97.828
5	Kalimantan Utara	3.503	0.51	12.748

Dari hasil evaluasi pada **Tabel 2**, terlihat bahwa model regresi cukup baik dalam menggambarkan perkembangan luas kawasan urban di masing-masing provinsi. Ini kelihatan dari nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif tinggi di sebagian besar provinsi. Kalimantan Tengah menempati posisi tertinggi dengan R^2 sebesar 0,93, artinya model mampu menjelaskan variasi perubahan luas kawasan urban dengan sangat baik di provinsi ini. Berbanding terbalik, Kalimantan Utara justru mencatat R^2 paling rendah, yaitu 0,51, sehingga hubungan antara model dan data pengamatan di wilayah ini relatif lebih lemah dibandingkan provinsi lainnya.

Nilai *slope* sendiri menggambarkan seberapa besar pertambahan luas kawasan urban tiap tahunnya. Kalimantan Timur mencatat *slope* tertinggi, 46,40 km²/tahun, menandakan laju perkembangan kawasan urban di provinsi ini lebih cepat dibanding yang lain. Sebaliknya, Kalimantan Utara mencatat *slope* paling rendah, yang berarti pertumbuhan kawasan urban di sana berjalan lebih lambat. Nilai RMSE pada tiap provinsi juga bervariasi, menunjukkan perbedaan tingkat kesalahan prediksi antar model. Namun secara umum, model regresi ini masih cukup mampu merepresentasikan tren perkembangan kawasan urban dan layak dijadikan dasar untuk proyeksi hingga tahun 2045 [8], [11].

Selain mengevaluasi kemampuan model regresi, dilakukan juga perhitungan perubahan luas kawasan urban di masing-masing provinsi sepanjang 2012–2024. Perhitungan ini dimaksudkan untuk melihat seberapa besar perubahan luas kawasan urban dan tingkat pertumbuhannya di tiap provinsi, yang hasilnya disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perubahan dan Pertumbuhan Luas Kawasan Urban pada Setiap Provinsi di Pulau Kalimantan Periode 2012–2024

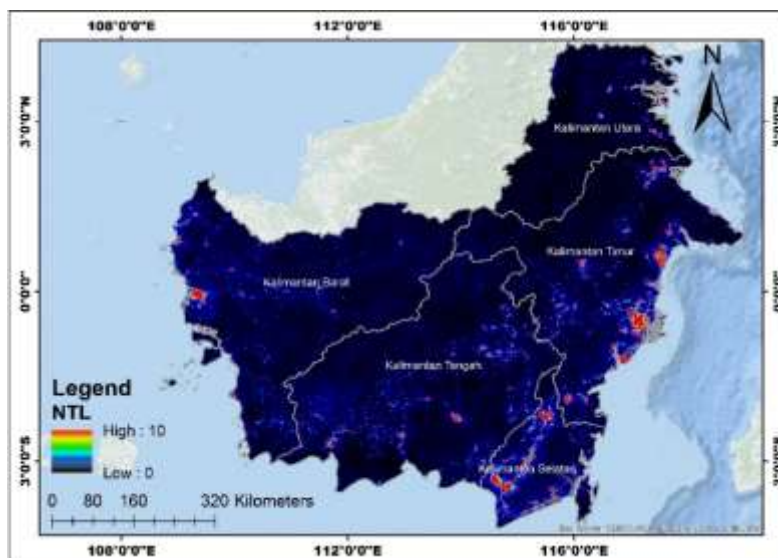
No	Provinsi	Urban 2012 (km ²)	Urban 2024 (km ²)	Perubahan (km ²)	Pertumbuhan (%)
1	Kalimantan Barat	135	283	148	109,63
2	Kalimantan Tengah	39	250	211	541,03
3	Kalimantan Selatan	150	590	440	293,33
4	Kalimantan Timur	399	1,114	715	179,20
5	Kalimantan Utara	37	109	72	194,59

Hasil pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa seluruh provinsi di Pulau Kalimantan mengalami peningkatan luas kawasan urban selama periode 2012–2024, meskipun besarnya perubahan dan tingkat pertumbuhannya berbeda pada setiap wilayah. Kalimantan Timur memiliki luas kawasan urban terbesar pada tahun 2024, yaitu 1.114 km², dengan penambahan luas mencapai 715 km² dibandingkan tahun 2012. Kondisi ini menunjukkan bahwa perkembangan kawasan urban di provinsi tersebut berlangsung lebih cepat dibandingkan wilayah lainnya.

Di sisi lain Kalimantan Tengah mencatat persentase pertumbuhan tertinggi, yaitu sebesar 541,03%. Meskipun luas kawasan urbannya masih lebih kecil dibandingkan Kalimantan Timur, tingginya persentase pertumbuhan menunjukkan bahwa perkembangan kawasan urban di provinsi tersebut berlangsung cukup pesat selama periode penelitian. Sementara itu, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Utara juga mengalami peningkatan luas kawasan urban dengan pertumbuhan yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa perkembangan kawasan urban di Pulau Kalimantan tidak berlangsung secara seragam, tetapi dipengaruhi oleh dinamika pembangunan pada masing-masing wilayah.

3.3 Proyeksi Perkembangan Wilayah Tahun 2045

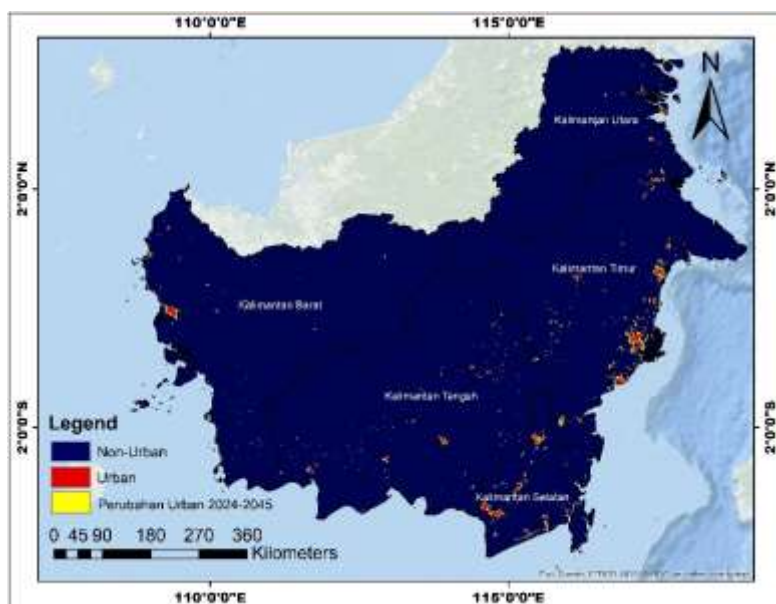
Proyeksi perkembangan wilayah dilakukan untuk memperkirakan kondisi Pulau Kalimantan hingga tahun 2045 berdasarkan kecenderungan perubahan *Night-time Lights* (NTL) dan luas kawasan urban selama periode 2012–2024. Hasil proyeksi ini memberikan gambaran mengenai arah perkembangan wilayah apabila pola perubahan yang terjadi selama periode penelitian terus berlanjut. Visualisasi hasil proyeksi *Night-time Lights* (NTL) tahun 2045 ditampilkan pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Peta Proyeksi *Night-time Lights* (NTL) Pulau Kalimantan Hingga 2045

Berdasarkan **Gambar 8**, intensitas *Night-time Lights* (NTL) diproyeksikan meningkat dibandingkan kondisi pada tahun 2024. Sebaran cahaya malam terlihat semakin meluas di sejumlah kawasan perkotaan dan wilayah pesisir, terutama di bagian timur Pulau Kalimantan. Sementara itu, wilayah pedalaman sebagian besar masih didominasi oleh intensitas cahaya yang relatif rendah. Pola semacam ini mengindikasikan bahwa perkembangan wilayah hingga 2045 diperkirakan masih akan mengikuti kawasan yang sudah lebih dulu berkembang sebagai pusat aktivitas dan pembangunan. Proyeksi NTL tersebut kemudian dijadikan acuan untuk memperkirakan perubahan kawasan urban hingga tahun 2045, dan proyeksinya terdapat pada **Gambar 9**.

Gambar 9 menunjukkan perubahan kawasan urban diperkirakan tidak terjadi secara merata di seluruh Pulau Kalimantan. Area yang mengalami perubahan menuju kawasan urban umumnya berada di sekitar kawasan perkotaan yang telah berkembang pada tahun 2024, sedangkan sebagian besar wilayah pedalaman masih didominasi oleh kawasan non-urban. Pola tersebut menunjukkan bahwa perkembangan kawasan urban hingga tahun 2045 cenderung mengikuti arah pertumbuhan kawasan terbangun yang telah terbentuk selama periode pengamatan. Sebaran perubahan kawasan urban yang terkonsentrasi di sekitar pusat-pusat aktivitas mengindikasikan bahwa proses urbanisasi diperkirakan lebih banyak terjadi melalui perluasan kawasan urban yang telah ada dibandingkan pembentukan kawasan urban baru [16]. Untuk melengkapi hasil proyeksi secara spasial dilakukan perhitungan luas kawasan urban untuk mengetahui besarnya perubahan yang diperkirakan terjadi hingga tahun 2045. Hasil perhitungan disajikan **Tabel 4**.



Gambar 8. Peta Perubahan Luas Kawasan Urban Pulau Kalimantan Hingga 2045

Tabel 4. Hasil Proyeksi Luas Kawasan Urban Pulau Kalimantan Tahun 2045

Indikator Proyeksi	Nilai
Luas kawasan urban tahun 2024 (km ²)	2,344
Luas kawasan urban tahun 2045 (km ²)	4,405
Perubahan luas kawasan urban (km ²)	2,061
Pertumbuhan kawasan urban (%)	87,93

Pada **Tabel 4** hasil proyeksi menunjukkan luas kawasan urban di Pulau Kalimantan diperkirakan bertambah dari 2.344 km² pada 2024 menjadi 4.405 km² pada 2045. Artinya, ada penambahan 2.061 km², atau setara 87,93% dari kondisi tahun 2024. Angka ini mengindikasikan bahwa kawasan urban di Kalimantan masih berpotensi terus berkembang, dengan catatan pola perubahan sepanjang 2012–2024 tetap berlanjut sampai 2045.

Hasil ini pun sejalan dengan proyeksi *Night-time Lights* (NTL), yang memperlihatkan bahwa makin tinggi intensitas cahaya malam, makin luas pula kawasan urban yang terbentuk. Meski begitu, perlu digarisbawahi bahwa proyeksi ini sifatnya masih perkiraan yang disusun berdasarkan tren historis 2012–2024 dengan model regresi linear. Jadi hasil ini lebih menggambarkan kecenderungan perkembangan wilayah ke depan, bukan kepastian yang akan benar-benar terjadi. Di luar itu, perkembangan kawasan urban juga bisa dipengaruhi berbagai faktor lain, seperti kebijakan pembangunan, pertumbuhan penduduk, kondisi ekonomi, sampai perubahan penggunaan lahan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, intensitas *Night-time Lights* (NTL) di Pulau Kalimantan menunjukkan tren meningkat sepanjang 2012–2024. Analisis regresi linear menghasilkan *slope* sebesar 0,0256 nW/cm²/sr/tahun, dengan koefisien determinasi (R^2) 0,93 dan RMSE 0,0261 nW/cm²/sr, angka-angka ini menandakan model cukup baik dalam menggambarkan tren perubahan intensitas NTL. Dari sisi spasial, peningkatan cahaya malam juga terlihat makin meluas, terutama di kawasan perkotaan, wilayah pesisir, dan sejumlah pusat pertumbuhan. Ini mengindikasikan bahwa aktivitas serta perkembangan wilayah di Kalimantan terus meningkat selama periode pengamatan.

Hasil ekstraksi dengan pendekatan *thresholding* menunjukkan bahwa data *Night-time Lights* (NTL) memang bisa dimanfaatkan untuk mengidentifikasi perubahan kawasan urban. Selama periode penelitian, luas kawasan urban bertambah dari 760 km² pada 2012 menjadi 2.344 km² pada 2024. Analisis regresi linearnya menghasilkan *slope* 114,6 km²/tahun, R^2 0,85, dan RMSE 173,2 km², sehingga cukup mampu menggambarkan kecenderungan pertumbuhan kawasan urban. Meski seluruh provinsi sama-sama mengalami peningkatan luas kawasan urban, besarnya pertumbuhan di tiap wilayah tidak seragam. Kalimantan Timur tercatat sebagai provinsi dengan kawasan urban terluas pada 2024, sementara Kalimantan Tengah justru mencatat persentase pertumbuhan tertinggi selama periode penelitian, yaitu 541,03%.

Berdasarkan model regresi linear yang dihasilkan dari data tahun 2012–2024, luas kawasan urban di Pulau Kalimantan diproyeksikan mencapai 4.405 km² pada 2045, atau bertambah 2.061 km² (87,93%) dari kondisi 2024. Proyeksi ini menunjukkan bahwa perkembangan kawasan urban ke depannya diperkirakan masih akan mengikuti wilayah yang sudah lebih dulu berkembang pada periode sebelumnya, terutama di sekitar pusat-pusat aktivitas. Meski begitu, hasil proyeksi ini tetap merupakan perkiraan berdasarkan tren historis, sehingga masih bisa dipengaruhi berbagai faktor lain, seperti kebijakan pembangunan, pertumbuhan penduduk, maupun perubahan penggunaan lahan di masa depan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa data *Night-time Lights* (NTL), yang dipadukan dengan metode *thresholding* dan regresi linear, punya potensi sebagai sumber informasi untuk memantau perkembangan kawasan urban sekaligus memberi gambaran arah perkembangan wilayah, sebagai bahan pendukung dalam perencanaan pembangunan dan penataan ruang di Pulau Kalimantan.

5. Daftar Pustaka

- [1] J. Gibson, S. Olivia, and G. Boe-Gibson, "Night lights in economics: Sources and uses," *Journal of Economic Surveys*, vol. 34, no. 5, pp. 955–980, 2020.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Statistik Indonesia 2024". Jakarta, Indonesia: BPS RI, 2024.
- [3] N. Zhao, E. L. Samson, and N. Currit, "Applications of nighttime light data in socioeconomic research," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 3, Art. no. 617, 2022
- [4] J. Xu, M. Kii, Y. Okano, and C. C. Chou, "Future scenarios of global urban expansion and carbon emissions with national heterogeneity: A mixed-effects model based on urban nighttime lights," *Remote Sensing*, vol. 17, no. 18, Art. no. 3251, 2025, doi: 10.3390/rs17183251.
- [5] Singh, Srashti, Kamal Jain, and Anugya Shukla. "GIS integration of land cover with night-time lights for spatiotemporal evaluation of urban expansion." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 48 (2023): 1561-1568.
- [6] G. McAvoy and K. P. Vadrevu, "Nighttime lights and population variations in cities of South/Southeast Asia: Distance-decay effect and implications," *Remote Sensing*, vol. 16, no. 23, Art. no. 4458, 2024, doi: 10.3390/rs16234458.
- [7] N. Levin, C. C. M. Kyba, and Q. Zhang, "Remote sensing of night lights Beyond DMSP," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, Art. no. 1472, 2019, doi: 10.3390/rs11121472.
- [8] W. Liang, R. Liu, and P. Kou, "Nighttime light dynamics reveal peri-urban brightening and population decoupling in the Chengdu Chongqing megaregion," *Scientific Reports*, vol. 16, Art. no. 4601, 2026, doi: 10.1038/s41598-025-34706-9.
- [9] M. Kii, K. Matsumoto, and S. Sugita, "Future scenarios of urban nighttime lights: A method for global cities and its application to urban expansion and carbon emission estimation," *Remote Sensing*, vol. 16, no. 6, Art. no. 1018, 2024, doi: 10.3390/rs16061018
- [10] Q. Zheng, K. C. Seto, Y. Zhou, S. You, and Q. Weng, "Nighttime light remote sensing for urban applications: Progress, challenges, and prospects," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 202, pp. 125–141, 2023, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2023.05.028.
- [11] A. Pambuku, M. Elia, A. Gardelli, V. Giannico, G. Sanesi, A. S. Bergantino, *et al.*, "Assessing urbanization dynamics using a pixel-based nighttime light indicator," *Ecological Indicators*, vol. 166, Art. no. 112486, 2024, doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112486.
- [12] C. Jing, W. Zhou, Y. Lin, C. Li, W. Liu, Y. Hua, and Z. Zhang, "Capacity of nighttime light data in measuring urban human activity: Evidence from SDGSAT-1 glimmer imagery and mobile phone data," *International Journal of Digital Earth*, vol. 18, no. 2, Art. no. 2589016, 2025, doi: 10.1080/17538947.2025.2589016.
- [13] Z. Iba and A. Wardhana, *Analisis Regresi dan Analisis Jalur untuk Riset Bisnis Menggunakan SPSS 29.0 & SMART-PLS 4.0*. Sukoharjo, Indonesia: CV. Eureka Media Aksara, 2024.
- [14] Y. Dou, Z. Liu, C. He, and H. Yue, "Urban land extraction using VIIRS nighttime light data: An evaluation of three popular methods," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 2, Art. no. 175, 2017, doi: 10.3390/rs9020175.
- [15] C. D. Elvidge, K. E. Baugh, M. Zhizhin, and F. C. Hsu, "Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights," *Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network*, vol. 35, pp. 62–69, 2013.
- [16] T.-H. K. Chen, W. Chen, E. C. Stokes, and Y. Zhou, "Detecting gaps between urban expansion and lighting infrastructure growth using daytime and nighttime satellite imagery," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 146, Art. no. 105087, 2026, doi: 10.1016/j.jag.2026.105087.