

Transformasi Ruang dan Lingkungan: Prediksi Tutupan Lahan di Kawasan Urban Kota Palangka Raya

Petrisly Perkasa^{1*}, Herwin Sutrisno¹, Theresia Susi¹, Yusuf Aguswan², Syam'ani³, Muhammad Anugrah Firdaus⁴, dan Eldy Indra Purnawan⁵

¹Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Palangka Raya, Indonesia; e-mail: petrisperkasa@upr.ac.id

²Jurusan Kehutanan, Universitas Palangka Raya, Indonesia

³Pusat Pengembangan Infrastruktur Data Spasial, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

⁴Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Kabupaten Pulang Pisau, Indonesia

⁵KPH Kotawaringin Barat, Dinas Kehutanan, Provinsi Kalimantan Tengah, Indonesia

ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan akibat urbanisasi merupakan tantangan utama dalam pengelolaan lingkungan perkotaan karena berpotensi menurunkan kualitas ekosistem dan meningkatkan tekanan terhadap sumber daya alam. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan tutupan lahan periode 2017–2024 serta memprediksi kondisi tutupan lahan tahun 2031 di Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya. Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan citra resolusi tinggi Planet Labs yang dikombinasikan dengan model prediksi spasial MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) untuk mendukung perencanaan tata ruang berbasis data spasial pada kawasan urban yang berkembang pesat. Prediksi dilakukan menggunakan pendekatan Markov Chain dan Cellular Automata (CA) dengan mempertimbangkan faktor pendorong perubahan lahan berupa topografi, jaringan jalan, sungai, pusat pemerintahan, dan sebaran bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama periode 2017–2024 terjadi peningkatan luas hutan dan lahan terbangun, sementara lahan semak, lahan terbuka, dan badan air mengalami penurunan. Prediksi tahun 2031 mengindikasikan berlanjutnya ekspansi kawasan terbangun yang berpotensi meningkatkan tekanan terhadap kawasan hutan, lahan terbuka, dan ekosistem perairan. Hasil validasi menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang baik dengan nilai overall correctness sebesar 82,97% dan Kappa Overall sebesar 0,74841, sehingga mampu merepresentasikan dinamika perubahan tutupan lahan secara kuantitatif maupun spasial. Temuan penelitian menegaskan pentingnya pengendalian urbanisasi, perlindungan kawasan hijau, dan konservasi sumber daya air dalam mendukung pembangunan perkotaan yang berkelanjutan. Informasi spasial prediktif yang dihasilkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan tata ruang dan pengelolaan lingkungan di Kota Palangka Raya.

Kata kunci: Prediksi Tutupan Lahan, Urbanisasi Spasial, Tata Ruang Adaptif, Alih Fungsi Lahan, Tata Guna Lahan Berkelanjutan

ABSTRACT

Land cover change driven by urbanization has become a major challenge in urban environmental management due to its potential to degrade ecosystem quality and increase pressure on natural resources. This study aims to analyze land cover changes during the 2017–2024 period and predict land cover conditions in 2031 in Pahandut District, Palangka Raya City, Indonesia. The novelty of this research lies in the integration of high-resolution Planet Labs imagery with the MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) spatial prediction model to support spatial data-driven urban planning in a rapidly developing urban area. Land cover prediction was conducted using a Markov Chain–Cellular Automata (CA) approach by incorporating driving factors such as topography, road networks, rivers, government centers, and building distribution. The results indicate that between 2017 and 2024, forest and built-up areas increased, while shrubland, open land, and water bodies decreased. The 2031 prediction suggests a continued expansion of built-up areas, which may intensify pressure on forested areas, open land, and aquatic ecosystems. Model validation demonstrated good predictive performance, with an overall correctness of 82.97% and an Overall Kappa value of 0.74841, indicating that the model was capable of representing land cover dynamics both quantitatively and spatially. The findings highlight the importance of urban growth control, green space protection, and water resource conservation to support sustainable urban development. The predictive spatial information generated by this study can serve as a valuable reference for spatial planning policies and environmental management strategies in Palangka Raya City.

Keywords: Land Cover Forecasting, Spatial Urban Development, Adaptive Spatial Management, Land Transformation, Sustainable Land Utilization

Citation: Perkasa, P., Sutrisno, H., Susi, T., Aguswan, Y., Syam'ani, Firdaus, M. A., dan Purnawan, E. I. (2026). Transformasi Ruang dan Lingkungan: Prediksi Tutupan Lahan di Kawasan Urban Kota Palangka Raya. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(2), 328-340, doi:10.14710/jil.24.2.328-340

1. PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena yang memiliki dampak luas terhadap lingkungan, ekonomi, dan sosial. Proses urbanisasi, konversi hutan dan sungai, serta perubahan iklim yang semakin intensif mengharuskan adanya pemantauan yang lebih baik terhadap dinamika spasial perubahan tutupan lahan (Dewa and Buchori, 2023). Secara global, perubahan ini berpotensi merusak ekosistem, meningkatkan kerentanan terhadap bencana alam, serta memperburuk ketimpangan sosial-ekonomi (Lin et al., 2022). Kota Palangka Raya, ibukota dari Provinsi Kalimantan Tengah telah memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan tutupan lahan, dengan konversi hutan dan lahan terbuka menjadi area permukiman dan komersial (Permana and Ludang, 2020). Perubahan tutupan lahan di Kecamatan Pahandut ini merupakan gambaran nyata dari urbanisasi yang terjadi di Palangka Raya. Proses urbanisasi yang cepat membawa serta tantangan besar dalam hal perencanaan tata ruang yang berkelanjutan (Rachmansyah et al., 2019).

Sementara itu, kawasan yang tadinya menjadi habitat alami bagi berbagai spesies flora dan fauna kini terancam dengan hilangnya area hijau yang berguna untuk menjaga keseimbangan alam (Spencer et al., 2023). Perubahan ini mempengaruhi ketersediaan sumber daya alam yang esensial, seperti air dan udara bersih, serta mengancam keberlanjutan ekosistem lokal (Afentina et al., 2020). Selain itu, konversi lahan menjadi wilayah terbangun di sekitar sungai berpotensi menyebabkan gangguan terhadap ekosistem perairan, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kehidupan masyarakat yang bergantung pada sungai untuk kebutuhan sehari-hari (Rahaman Rahat et al., 2022). Proses ini mempercepat degradasi lingkungan, mengurangi luas kawasan hijau, dan mengancam kelestarian sungai-sungai yang ada (Huang et al., 2019). Oleh karena itu, perencanaan tata ruang yang lebih baik dan berbasis pada prinsip pembangunan berkelanjutan sangat diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan (Jaroszewicz et al., 2023).

Oleh karena itu, pemahaman yang lebih mendalam mengenai tren perubahan spasial menjadi kunci untuk merancang kebijakan pembangunan yang berkelanjutan dan responsif terhadap tantangan-tantangan tersebut. Tren perubahan spasial di lokasi penelitian, terutama yang berkaitan dengan konversi hutan dan pengelolaan sungai, memberikan gambaran yang jelas mengenai tantangan-tantangan besar yang dihadapi dalam pembangunan berkelanjutan (Rahman et al., 2021). Dengan memanfaatkan teknologi analisis spasial, kita dapat merancang kebijakan pembangunan yang tidak hanya responsif terhadap kebutuhan masyarakat, tetapi juga mempertimbangkan kelestarian lingkungan (Iskandar et al., 2024). Dengan demikian, perencanaan yang berbasis data spasial dapat mengarah pada pengelolaan lahan yang lebih baik, melindungi ekosistem vital, serta memastikan bahwa

pembangunan di kota Palangka Raya dapat berjalan secara berkelanjutan, menjaga keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian alam (Wahyudie et al., 2021).

Meskipun berbagai penelitian mengenai perubahan tutupan lahan telah banyak dilakukan di Indonesia maupun Kalimantan, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada identifikasi perubahan historis dan analisis deskriptif tutupan lahan. Kajian yang mengintegrasikan prediksi spasial perubahan tutupan lahan untuk mendukung pengambilan keputusan tata ruang perkotaan masih relatif terbatas, khususnya pada kawasan urban yang berkembang pesat di Kalimantan Tengah. Di Kota Palangka Raya, penelitian terdahulu umumnya membahas urbanisasi, kebakaran hutan dan lahan, serta perubahan penggunaan lahan secara terpisah, sehingga informasi mengenai pola perubahan tutupan lahan di masa depan masih belum banyak tersedia. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan akan model prediksi spasial yang mampu menggambarkan arah dan intensitas perubahan tutupan lahan sebagai dasar penyusunan kebijakan pembangunan yang lebih berkelanjutan.

Salah satu pendekatan yang semakin berkembang untuk memantau perubahan ini adalah penggunaan teknologi satelit dan sistem informasi geografis (Weng, 2002). Teknologi satelit, khususnya citra dari penyedia layanan seperti Planet Labs, memberikan data resolusi tinggi yang sangat diperlukan untuk memetakan perubahan tutupan lahan secara akurat dan terperinci (Frazier and Hemingway, 2021). Di sisi lain, perangkat lunak GIS seperti QGIS, yang dilengkapi dengan plugin seperti Molusce, menawarkan kemampuan analisis spasial yang canggih, yang memungkinkan para peneliti untuk tidak hanya mengidentifikasi perubahan yang sudah terjadi, tetapi juga untuk memprediksi tren perubahan di masa depan (Amgoth et al., 2023). (Handayani et al., 2020).

Dalam penelitian ini digunakan plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) pada perangkat lunak QGIS sebagai alat pemodelan perubahan tutupan lahan. Pemilihan MOLUSCE didasarkan pada kemampuannya mengintegrasikan pendekatan Markov Chain dan Cellular Automata untuk mensimulasikan transisi antar kelas tutupan lahan berdasarkan pola perubahan historis dan faktor-faktor pendorong spasial. Dibandingkan pendekatan perubahan lahan yang hanya bersifat deskriptif, MOLUSCE memungkinkan analisis yang lebih komprehensif karena tidak hanya mengidentifikasi perubahan yang telah terjadi, tetapi juga memprediksi distribusi spasial perubahan di masa depan. Selain itu, model ini telah banyak digunakan dalam penelitian perubahan tutupan lahan karena mampu merepresentasikan dinamika spasial secara kuantitatif maupun spasial dengan tingkat akurasi yang baik.

Dalam hal ini, teknologi GIS seperti QGIS dan plugin Molusce memberikan alat yang sangat berguna

untuk memantau, menganalisis, dan memprediksi perubahan tutupan lahan secara lebih terarah (Ramdhan et al., 2024). Dengan pendekatan ini, risiko kerusakan lingkungan yang lebih parah dapat diminimalkan, dan pembangunan yang lebih berkelanjutan dapat terwujud, yang pada gilirannya akan memberikan manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan alam (Zulkarnain et al., 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan periode 2017–2024 dan memprediksi kondisi tutupan lahan tahun 2031 di Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya, menggunakan citra resolusi tinggi Planet Labs dan model MOLUSCE berbasis Markov Chain–Cellular Automata. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa informasi spasial prediktif mengenai dinamika perubahan tutupan lahan pada kawasan urban tropis serta menyediakan dasar yang lebih kuat bagi penyusunan kebijakan tata ruang, pengendalian urbanisasi, dan konservasi lingkungan di Kota Palangka Raya.

Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan mengembangkan model prediksi perubahan tutupan lahan yang memanfaatkan citra satelit Planet Labs dan analisis spasial menggunakan plugin QGIS Molusce (Baghel et al., 2024). Hal ini diharapkan dapat menawarkan solusi yang lebih efektif dan berbasis data untuk menghadapi tantangan-tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan tutupan lahan secara global.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain analisis spasial untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan dan memprediksi kondisi tutupan lahan di Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Analisis dilakukan menggunakan citra Planet Labs tahun 2017 dan 2024 dengan resolusi spasial 3 m × 3 m. Citra tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan lima kelas tutupan lahan, yaitu badan air, lahan terbangun, lahan terbuka, hutan, dan semak.

Klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) pada perangkat lunak QGIS dengan metode supervised classification dan algoritma Maximum Likelihood (Tempa and Aryal, 2022). Setiap kelas tutupan lahan diwakili oleh 25 sampel pelatihan (training samples), sehingga total sampel pelatihan yang digunakan berjumlah 125 sampel.

Untuk memastikan kesesuaian hasil klasifikasi dengan kondisi aktual di lapangan, dilakukan Ground Truth Check (GTC) melalui survei lapangan dan dokumentasi lokasi. Validasi dilakukan menggunakan

lima titik sampel pada masing-masing kelas tutupan lahan sehingga total terdapat 25 titik validasi. Hasil validasi digunakan untuk memverifikasi kesesuaian kelas tutupan lahan sebelum dilakukan pemodelan perubahan tutupan lahan.

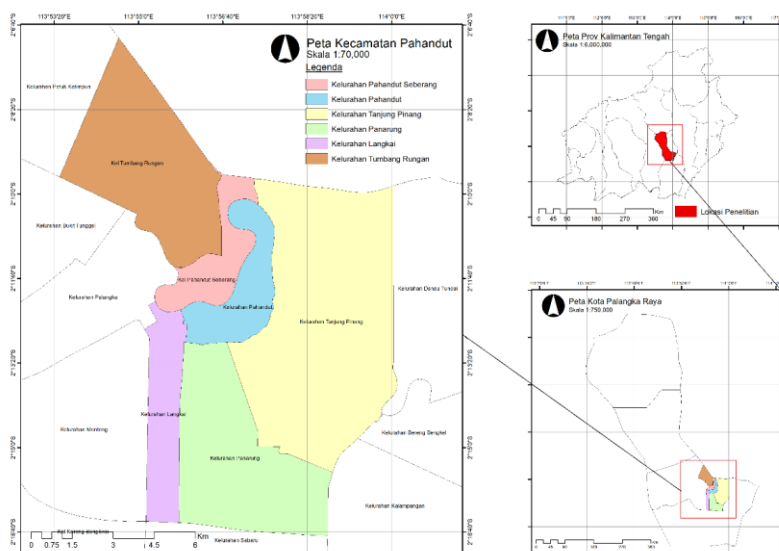
Tahap selanjutnya adalah pemodelan prediksi tutupan lahan menggunakan plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) pada QGIS. Prediksi dilakukan menggunakan pendekatan Markov Chain dan Cellular Automata (CA) dengan mempertimbangkan faktor-faktor pendorong perubahan lahan berupa Digital Elevation Model (DEM), jaringan jalan, sungai, lokasi pusat pemerintahan, dan sebaran bangunan. Tahun 2031 dipilih sebagai tahun prediksi karena memiliki interval waktu tujuh tahun yang sama dengan periode observasi 2017–2024, sehingga menjaga konsistensi horizon prediksi dalam model (Bramantio et al., 2024).

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

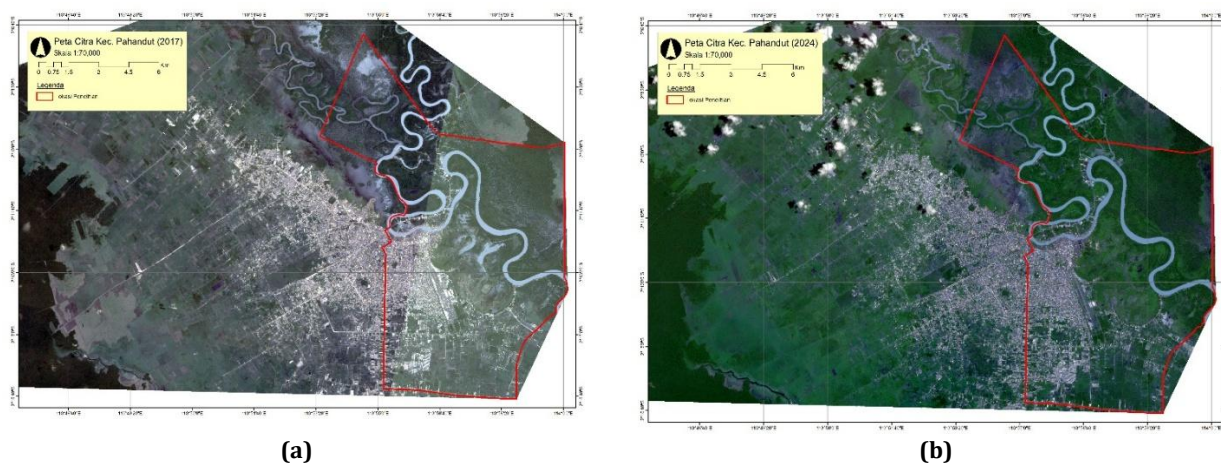
Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas wilayah sekitar 12.145 ha yang meliputi Kelurahan Tumbang Rungan, Pahandut Seberang, Pahandut, Langkai, Panarung, dan Tanjung Pinang. Peta lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan citra tahun 2017 dan 2024, sedangkan prediksi tutupan lahan dilakukan untuk tahun 2031.

Secara geografis, Kecamatan Pahandut berada di bagian tengah Kota Palangka Raya dan berbatasan dengan Kecamatan Jekan Raya di sebelah barat serta Kecamatan Sebangau di sebelah selatan. Sebagian besar wilayahnya berada di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Kahayan dan beberapa anak sungai, seperti Terusan Limau, Terusan Kanda, Terusan Tuan, Terusan Parasiang, dan Sei Raung. Kondisi tersebut menjadikan wilayah ini memiliki fungsi strategis baik dari aspek ekologis maupun perkembangan perkotaan.

Kecamatan Pahandut dipilih sebagai lokasi penelitian karena merupakan pusat aktivitas perkotaan di Kota Palangka Raya yang mencakup fungsi pemerintahan, perdagangan, jasa, dan permukiman. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Palangka Raya tahun 2022, Kecamatan Pahandut merupakan kecamatan dengan jumlah penduduk tertinggi di Kota Palangka Raya. Kondisi ini menunjukkan adanya tekanan urbanisasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya, sehingga berpotensi mendorong perubahan tutupan lahan yang signifikan. Oleh karena itu, Kecamatan Pahandut menjadi lokasi yang representatif untuk menganalisis dinamika perubahan dan prediksi tutupan lahan pada kawasan urban yang berkembang pesat (Raya, 2023).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Peta Citra dari Planet Labs. (a) Peta Citra Kecamatan Pahandut tahun 2017. (b) Peta Citra Kecamatan Pahandut Tahun 2024

2.3. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi laptop, kamera digital, Global Positioning System (GPS), dan perangkat lunak QGIS Desktop versi 3.34.13. Analisis tutupan lahan dilakukan menggunakan Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), sedangkan simulasi perubahan dan prediksi tutupan lahan dilakukan menggunakan plugin MOLUSCE.

Data utama yang digunakan berupa citra satelit Planet Labs tahun 2017 dan 2024 dengan resolusi spasial 3 m × 3 m dan kondisi tutupan awan minimal. Citra tersebut digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tutupan lahan di wilayah penelitian (Frazier and Hemingway, 2021)..

Selain citra satelit, penelitian ini menggunakan beberapa data pendukung berupa Digital Elevation Model (DEM) yang diperoleh dari USGS Earth Explorer untuk menghasilkan informasi elevasi dan kemiringan lereng. Data jaringan jalan, sungai, batas administrasi, dan lokasi pemerintahan diperoleh dari portal Ina-Geoportal sedangkan data sebaran bangunan diperoleh dari OpenStreetMap. Seluruh

data spasial kemudian diolah menggunakan teknik overlay dan proximity analysis untuk menghasilkan variabel pendorong yang digunakan dalam pemodelan perubahan tutupan lahan (Ramadhan et al., 2021).

Sebagai bagian dari validasi lapangan, dilakukan Ground Truth Check (GTC) pada lokasi penelitian melalui observasi langsung dan dokumentasi kondisi tutupan lahan aktual untuk mendukung proses interpretasi dan verifikasi hasil klasifikasi citra (Fetene et al., 2023).

2.4. Analisis Data

2.4.1. Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan menggunakan citra satelit Planet Labs tahun 2017 dan 2024 dengan resolusi spasial 3 m × 3 m. Penggunaan citra resolusi tinggi memungkinkan identifikasi perubahan tutupan lahan secara lebih detail dan akurat pada kawasan perkotaan yang mengalami perkembangan pesat (Paul et al., 2020; Pei and Kress, 2020).Seluruh data spasial yang digunakan terlebih dahulu diseragamkan ke dalam sistem koordinat UTM

Zona 49S untuk memastikan kesesuaian spasial antar dataset (Acuña-Alonso et al., 2022).

Tahap prapengolahan (pre-processing) meliputi pemeriksaan sistem koordinat, pemotongan citra sesuai batas wilayah penelitian (clipping), dan penyesuaian data raster agar dapat digunakan dalam proses klasifikasi. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) pada perangkat lunak QGIS (Gala and Boakye, 2020). Band merah (Red), hijau (Green), biru (Blue), dan near-infrared (NIR) digunakan sebagai masukan utama untuk membedakan karakteristik spektral masing-masing kelas tutupan lahan (Vulova et al., 2019).

Lima kelas tutupan lahan yang diklasifikasikan meliputi badan air, lahan terbangun, lahan terbuka, hutan, dan semak. Metode klasifikasi yang digunakan adalah supervised classification dengan algoritma Maximum Likelihood (Budi and Akhyar, 2021). Proses klasifikasi diawali dengan penyusunan sampel pelatihan (training samples) yang mewakili masing-masing kelas tutupan lahan. Setiap kelas diwakili oleh 25 sampel pelatihan sehingga total sampel pelatihan yang digunakan berjumlah 125 sampel.

Sampel dipilih berdasarkan karakteristik spektral yang homogen pada citra dan hasil interpretasi visual (da Silva et al., 2020). Untuk memverifikasi hasil klasifikasi, dilakukan Ground Truth Check (GTC) melalui survei lapangan dan dokumentasi kondisi aktual tutupan lahan (Wang and Liu, 2024). Validasi dilakukan menggunakan lima titik sampel untuk masing-masing kelas tutupan lahan sehingga total terdapat 25 titik validasi.

Titik-titik tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian hasil klasifikasi dengan kondisi aktual di lapangan sebelum data digunakan dalam analisis perubahan dan pemodelan prediksi tutupan lahan. Setelah proses klasifikasi selesai, dilakukan tahap pascaklasifikasi (post-processing) untuk mengurangi kesalahan klasifikasi dan memperhalus batas antar kelas menggunakan filter spasial (Zhu and Ling, 2022).

Selanjutnya, hasil klasifikasi tahun 2017 dan 2024 dibandingkan untuk mengidentifikasi perubahan luas dan pola transisi antar kelas tutupan lahan di Kecamatan Pahandut. Analisis multitemporal ini digunakan untuk menyusun matriks perubahan tutupan lahan dan mengidentifikasi dinamika perubahan spasial yang terjadi selama periode pengamatan (Vulova et al., 2019). Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai data masukan dalam pemodelan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan plugin MOLUSCE (Biernacka et al., 2023).

2.4.2. Analisis Prediksi Tutupan Lahan

Prediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Pahandut dilakukan menggunakan plugin MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation) pada perangkat lunak QGIS. Pemodelan dilakukan berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan tahun

2017 dan 2024 yang terdiri atas lima kelas, yaitu badan air, lahan terbangun, lahan terbuka, hutan, dan semak. Selain data tutupan lahan, model juga menggunakan faktor-faktor pendorong perubahan yang meliputi Digital Elevation Model (DEM), kemiringan lereng (slope), jaringan jalan, sungai, lokasi pusat pemerintahan, dan sebaran bangunan (Ibárcena, 2023; Zhang et al., 2024).

Faktor-faktor pendorong tersebut diolah menggunakan teknik overlay dan proximity analysis untuk menghasilkan informasi jarak terhadap objek tertentu, seperti jarak ke jalan, sungai, dan pusat pemerintahan. Variabel-variabel tersebut digunakan sebagai masukan dalam pemodelan untuk menggambarkan pengaruh kondisi biofisik dan aktivitas manusia terhadap perubahan tutupan lahan (Larasati et al., 2019).

MOLUSCE mengintegrasikan pendekatan Markov Chain dan Cellular Automata (CA) dalam proses prediksi perubahan tutupan lahan (Nyamekye et al., 2021). Markov Chain digunakan untuk menghitung probabilitas transisi antar kelas tutupan lahan berdasarkan perubahan yang terjadi pada periode 2017–2024, sedangkan Cellular Automata digunakan untuk mensimulasikan distribusi spasial perubahan tersebut dengan mempertimbangkan pengaruh sel-sel di sekitarnya. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan prediksi perubahan tutupan lahan tidak hanya secara kuantitatif, tetapi juga secara spasial.

Prediksi dilakukan untuk tahun 2031 dengan mempertahankan interval waktu tujuh tahun yang sama dengan periode observasi 2017–2024. Pendekatan ini digunakan untuk menjaga konsistensi temporal model dan mengurangi ketidakpastian yang dapat muncul akibat perbedaan rentang waktu prediksi (Lukas et al., 2023).

Untuk mengevaluasi kinerja model, dilakukan dua tahap validasi pada MOLUSCE. Tahap pertama adalah Transition Potential Modelling (TPM), yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mempelajari hubungan antara perubahan tutupan lahan dan faktor-faktor pendorong menggunakan Artificial Neural Network (ANN). Tahap kedua adalah validasi hasil simulasi, yang dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi terhadap data referensi guna menilai tingkat kesesuaian spasial model. Kedua tahapan validasi tersebut digunakan untuk memastikan bahwa model memiliki kemampuan yang memadai dalam merepresentasikan dinamika perubahan tutupan lahan pada wilayah penelitian (Priyadi et al., 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Tutupan Lahan dari Tahun 2017 sampai dengan Tahun 2024

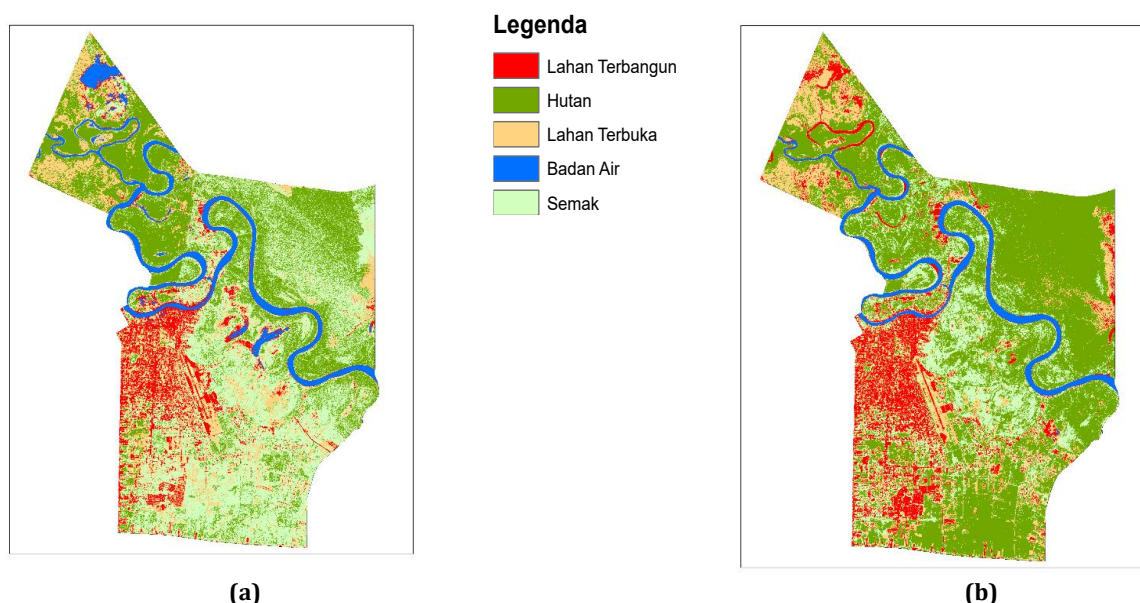
Secara spasial, dinamika perubahan tutupan lahan di wilayah penelitian menunjukkan peningkatan yang signifikan pada kategori hutan dan lahan terbangun selama periode 2017 hingga 2024, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.

Kategori hutan mencatat peningkatan luas tertinggi selama periode 2017–2024, yaitu sebesar 2.365,37 ha atau setara dengan 337,91 ha/tahun. Peningkatan ini menunjukkan adanya penambahan tutupan vegetasi pada wilayah penelitian. Berdasarkan hasil analisis perubahan tutupan lahan, peningkatan luas hutan terutama berasal dari konversi lahan semak dan lahan terbuka menjadi hutan. Temuan ini mengindikasikan adanya proses perubahan tutupan vegetasi yang signifikan selama periode pengamatan, meskipun faktor penyebab spesifiknya tidak dievaluasi secara langsung dalam penelitian ini.

Sementara itu, lahan terbangun meningkat sebesar 57,17 ha/tahun, mencerminkan proses urbanisasi dan

perluasan infrastruktur di kawasan tersebut. Di sisi lain, semak menunjukkan penurunan terbesar, yaitu -345,49 ha/tahun, yang kemungkinan besar mengalami alih fungsi menjadi hutan melalui penghijauan atau menjadi kawasan terbangun karena ekspansi pemukiman. Peta perubahan lahan dari tahun 2017 sampai dengan 2024 dapat dilihat pada Gambar 4.

Badan air dan lahan terbuka juga mengalami penurunan masing-masing sebesar -33,00 ha/tahun dan -16,58 ha/tahun, yang dapat mencerminkan dampak dari perubahan tata guna lahan, sedimentasi, atau penurunan kapasitas tampung air di wilayah tersebut. Temuan ini ditunjukkan pada Tabel 1 yang menggambarkan perubahan luas tutupan lahan.



Gambar 3. Peta Klasifikasi Tutupan Lahan di Kecamatan Pahandut. (a) Tahun 2017 (b) Tahun 2024



Gambar 4. Peta Perubahan Lahan dari Tahun 2017 sampai dengan 2024 di Kecamatan Pahandut

Tabel 1. Perubahan Luas Tutupan Lahan di Kecamatan Pahandut 2017-2024

No	Tutupan Lahan	Tahun 2017		Tahun 2024		Perubahan		Laju Perubahan (ha/tahun)
		Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)	
1	Lahan Terbangun	1,032.05	8.50	1,432.22	11.79	400.17	3.30	57.17
2	Hutan	3,856.66	31.76	6,222.03	51.23	2,365.37	19.48	337.91
3	Lahan Terbuka	2,015.91	16.60	1,899.82	15.64	-116.09	-0.96	-16.58
4	Badan Air	781.54	6.44	550.53	4.53	-231.01	-1.90	-33.00
5	Semak	4,458.33	36.71	2,039.91	16.80	-2,418.42	-19.91	-345.49
		100.00		100.00				

Tabel 2. Matriks Perubahan Penutupan Lahan di Kecamatan Pahandut 2017-2024

Lahan Terbangun			Hutan		
Perubahan	Luas (ha)	Luas (%)	Perubahan	Luas (ha)	Luas (%)
Lahan Terbangun tetap	618.38	59.92	Hutan tetap	2981.31	77.30
Lahan Terbangun ke hutan	61.67	5.98	Hutan ke lahan terbangun	45.98	1.19
Lahan Terbangun ke lahan terbuka	255.53	24.76	Hutan ke lahan terbuka	247.27	6.41
Lahan terbangun ke badan air	15.4	1.49	Hutan badan air	0.32	0.01
Lahan terbangun ke semak	81.08	7.86	Hutan ke semak	581.78	15.09
Badan Air			Semak		
Perubahan	Luas (ha)	Luas (%)	Perubahan	Luas (ha)	Luas (%)
Badan air tetap	531.08	67.95	Semak tetap	1079.36	24.21
Badan air ke lahan terbangun	133.22	17.05	Semak ke lahan terbangun	230.03	5.16
Badan air ke hutan	22.38	2.86	Semak ke hutan	2595.2	58.21
Badan air ke lahan terbuka	75.67	9.68	Semak ke lahan terbuka	551.87	12.38
Badan air ke semak	19.19	2.46	Semak air ke badan air	1.87	0.04
Lahan Terbuka					
Perubahan	Luas (ha)	Luas (%)			
Lahan terbuka tetap	769.48	38.17			
Lahan terbuka ke lahan terbangun	404.61	20.07			
Lahan terbuka ke hutan	561.47	27.85			
Lahan terbuka ke badan air	1.86	0.09			
Lahan terbuka ke semak	278.49	13.81			

Berdasarkan hasil Tabel 1 yang merupakan perubahan luas tutupan lahan tahun 2017–2024, terlihat bahwa terjadi alih fungsi lahan yang signifikan di wilayah studi. Dari kategori semak, sekitar 2.595 hektar mengalami konversi menjadi hutan, sementara hanya sekitar 1.079 hektar yang tetap bertahan sebagai semak. Hal serupa juga terjadi pada lahan terbuka, di mana sekitar 561 hektar berubah menjadi hutan, dan hanya 769 hektar yang tidak mengalami perubahan. Di sisi lain, lahan terbangun menunjukkan kestabilan dengan sebagian besar (sekitar 618 hektar) tetap pada kategori yang sama, serta menyerap sebagian lahan terbuka sebesar 255 hektar.

Secara umum, kategori hutan dan lahan terbangun mengalami peningkatan luas, yang mencerminkan adanya proses penghijauan dan pembangunan infrastruktur.

Secara umum, kategori hutan dan lahan terbangun mengalami peningkatan luas selama periode pengamatan. Peningkatan luas hutan terutama berasal dari konversi lahan semak dan lahan terbuka, sedangkan peningkatan lahan terbangun menunjukkan adanya tekanan pembangunan dan urbanisasi pada wilayah penelitian. Temuan ini menunjukkan bahwa dinamika perubahan tutupan lahan di Kecamatan Pahandut dipengaruhi oleh proses perubahan vegetasi dan perkembangan kawasan perkotaan yang berlangsung secara bersamaan.

Sedangkan temuan pada Tabel 2 terkait hasil analisis matriks perubahan tutupan lahan tahun 2017–2024 di lokasi studi, dapat disimpulkan bahwa

terjadi dinamika alih fungsi lahan yang cukup kompleks di wilayah tersebut.

Lahan semak mengalami perubahan paling signifikan, dengan hanya 24,21% (1.079 ha) yang tetap, sementara sebagian besar dikonversi menjadi hutan (58,21%), diikuti oleh lahan terbuka (12,38%) dan lahan terbangun (5,16%). Hal ini menunjukkan adanya proses perubahan tutupan vegetasi yang cukup signifikan dari kelas semak menuju kelas hutan. Berdasarkan matriks perubahan tutupan lahan, lebih dari separuh luas semak mengalami transisi menjadi hutan selama periode pengamatan. Namun demikian, penelitian ini tidak secara khusus menganalisis faktor penyebab perubahan tersebut sehingga diperlukan kajian lanjutan untuk mengidentifikasi pengaruh faktor biofisik maupun sosial-ekonomi terhadap perubahan tutupan vegetasi yang terjadi (Jia et al., 2020). Gambar 5 merupakan dokumentasi terkait perubahan tutupan lahan disekitar lokasi penelitian.

Sementara itu, lahan terbuka juga mengalami konversi cukup besar ke arah hutan (27,85%) dan lahan terbangun (20,07%), dengan hanya 38,17% yang tetap. Adapun kategori hutan relatif stabil, dengan 77,30% luasnya tidak berubah, namun terdapat aliran masuk yang cukup besar dari semak dan lahan terbuka. Lahan terbangun memiliki tingkat kestabilan cukup tinggi (59,92% tetap), tetapi juga menerima konversi dari semak, lahan terbuka, dan badan air, menunjukkan indikasi pertumbuhan permukiman atau infrastruktur.

Di sisi lain, badan air relatif stabil (67,95% tetap), tetapi sebagian berubah menjadi lahan terbangun (17,05%) dan lahan terbuka (9,68%). Di sisi lain,

badan air relatif stabil dengan 67,95% area tetap berada pada kelas yang sama. Namun demikian, sebagian badan air mengalami perubahan menjadi lahan terbangun dan lahan terbuka. Perubahan tersebut menunjukkan adanya dinamika pada kawasan perairan yang kemungkinan berkaitan dengan proses sedimentasi, perubahan penggunaan lahan di sekitar badan air, maupun faktor hidrologi lainnya. Faktor-faktor tersebut tidak dianalisis secara khusus dalam penelitian ini sehingga memerlukan kajian lanjutan untuk memperoleh penjelasan yang lebih komprehensif.

Secara keseluruhan, perubahan ini mencerminkan adanya dua kecenderungan besar yakni pertama, peningkatan tutupan hutan melalui konversi dari semak dan lahan terbuka, dan kedua, ekspansi wilayah terbangun sebagai bagian dari proses urbanisasi. Peristiwa seperti kebakaran lahan Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan adanya dua kecenderungan utama, yaitu peningkatan luas hutan yang berasal dari konversi semak dan lahan terbuka, serta ekspansi lahan terbangun yang mencerminkan perkembangan kawasan perkotaan. Kedua proses tersebut menunjukkan bahwa Kecamatan Pahandut mengalami dinamika perubahan tutupan lahan yang cukup intensif selama periode 2017–2024.

3.2. Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2031

Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2031 menunjukkan adanya perubahan yang mencerminkan tren pembangunan dan dinamika ekologis di wilayah studi. Lahan terbangun diproyeksikan terus meningkat, mencerminkan perluasan aktivitas manusia dan urbanisasi, dengan kenaikan mencapai 351,05 hektar dibanding tahun 2024.

Di sisi lain, lahan hutan mengalami penurunan, yang mengindikasikan potensi tekanan terhadap kawasan lindung dan pentingnya penguatan kebijakan konservasi. Lahan terbuka dan badan air juga menunjukkan penurunan, yang patut diwaspadai sebagai indikasi berkurangnya ruang terbuka dan ekosistem air.

Sementara itu, kategori semak menunjukkan peningkatan luas yang cukup signifikan. Perubahan ini mengindikasikan adanya pergeseran tutupan lahan menuju vegetasi semak pada sebagian wilayah penelitian, meskipun faktor penyebab spesifiknya tidak dianalisis secara langsung dalam penelitian ini. Secara keseluruhan, proyeksi ini menggarisbawahi pentingnya pengelolaan tata ruang yang adaptif dan berkelanjutan untuk menghindari degradasi lingkungan di tengah pertumbuhan wilayah. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6 adalah peta prediksi tutupan lahan di kecamatan Pahandut tahun 2031.



(a)



(b)

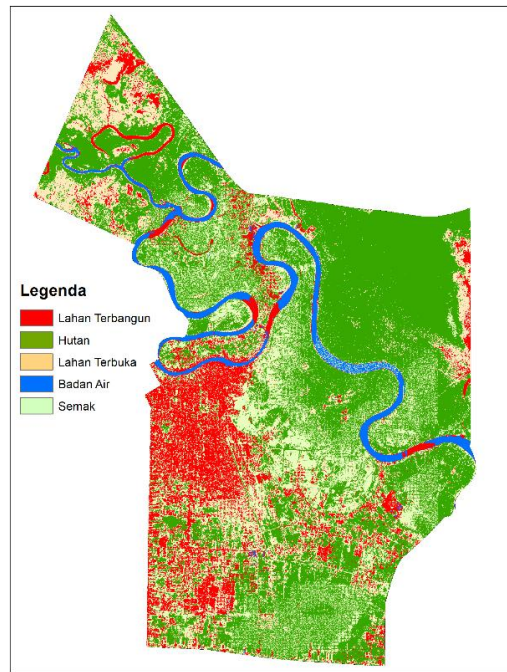


(c)



(d)

Gambar 5. Dokumentasi Terkait Perubahan Tutupan Lahan di Sekitar Lokasi Penelitian. (a) Peningkatan Luas Permukiman Manusia di Daerah Aliran Sungai Kahayan. (b) Penebangan Hutan untuk Keperluan Bahan Bangunan. (c) Pengukuran Pendangkalan Sungai oleh Penambangan Emas Ilegal di Daerah Aliran Sungai Kahayan. (d) Meander Daerah Aliran Sungai Kahayan dalam Keadaan Optimal



Gambar 6. Peta Prediksi Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2031 di Kecamatan Pahandut

Tabel 3 .Prediksi Perubahan Luas Tutupan Lahan di Kecamatan Pahandut tahun 2031

No	Tutupan Lahan	Tahun 2024		Tahun 2031		Perubahan		Laju Perubahan (ha/tahun)
		Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)	Luas (ha)	Luas (%)	
1	Lahan Terbangun	1,432.22	11.79	1,783.27	14.68	351.05	2.89	50.15
2	Hutan	6,222.03	51.23	5,949.58	48.99	-272.45	-2.24	-38.92
3	Lahan Terbuka	1,899.82	15.64	1,431.36	11.79	-468.46	-3.86	-66.92
4	Badan Air	550.53	4.53	497.03	4.09	-53.50	-0.44	-7.64
5	Semak	2,039.91	16.80	2,483.26	20.45	443.35	3.65	63.34
		100.00		100.00				

Berdasarkan hasil proyeksi perubahan tutupan lahan antara tahun 2024 hingga 2031, terlihat adanya dinamika alih fungsi lahan yang signifikan di wilayah studi. Lahan terbangun mengalami peningkatan luas sebesar 351,05 hektar (setara dengan peningkatan persentase 2,89%), yang mencerminkan tren urbanisasi atau perluasan infrastruktur.

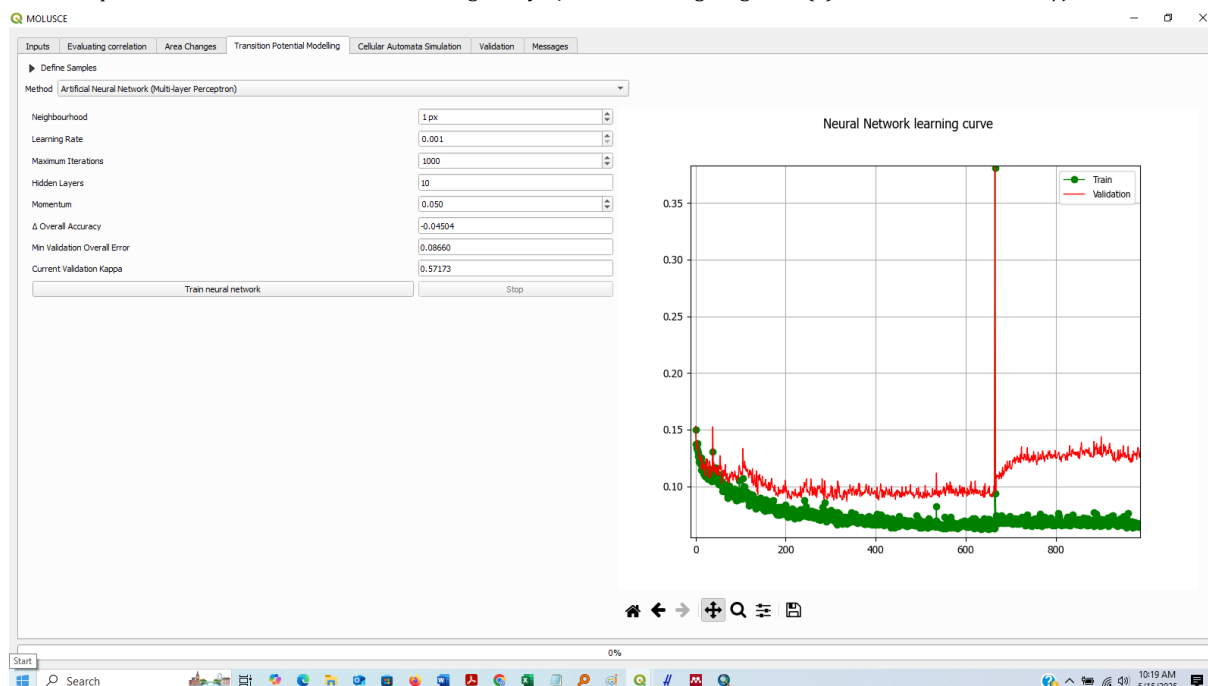
Di sisi lain, kategori hutan justru menunjukkan penurunan seluas 272,44 hektar (-2,24%), mengindikasikan kemungkinan terjadinya konversi hutan ke penggunaan lain seperti permukiman atau kegiatan ekonomi. Penurunan yang lebih besar terjadi pada lahan terbuka, yang menyusut hingga 468,46 hektar (-3,86%). Perubahan tersebut menunjukkan adanya proses transisi menuju kelas tutupan lahan lain, terutama semak, hutan, dan lahan terbangun sebagaimana ditunjukkan oleh hasil simulasi perubahan tutupan lahan. Temuan ini ditunjukkan pada Tabel 3 yang menggambarkan prediksi perubahan luas tutupan lahan tahun 2031.

Badan air mengalami pengurangan luas sebesar 53,50 hektar (-0,44%). Perubahan ini menunjukkan adanya tekanan terhadap keberlanjutan kawasan perairan yang berpotensi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti perubahan penggunaan lahan di sekitar badan air maupun dinamika hidrologi setempat. Faktor-faktor tersebut tidak dianalisis secara khusus dalam penelitian ini sehingga memerlukan kajian

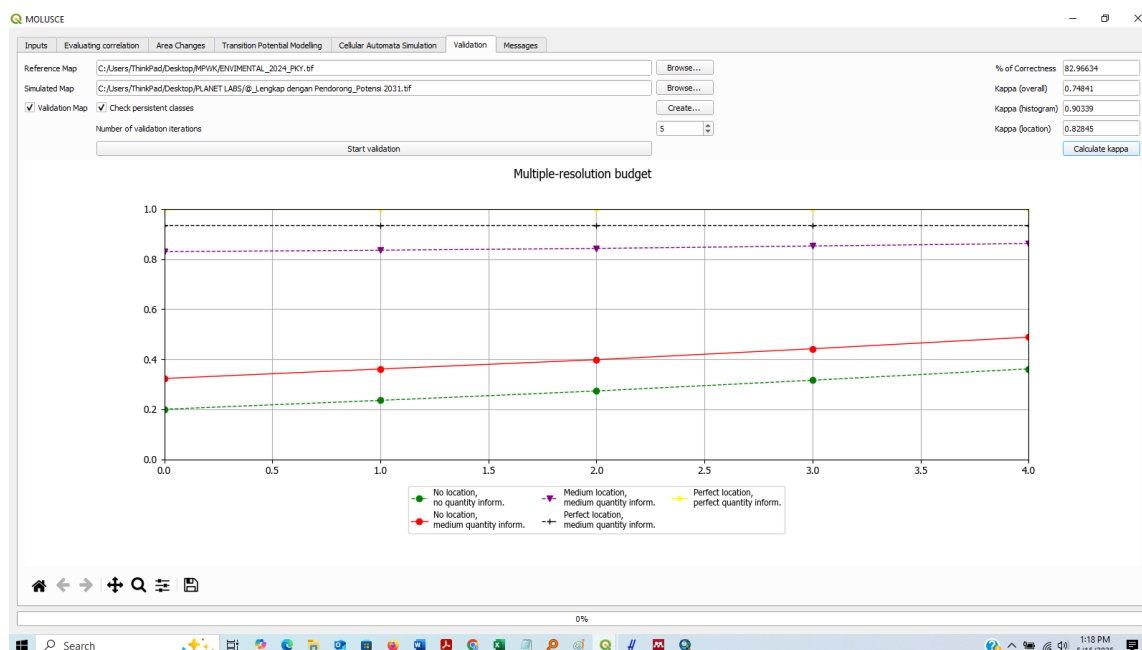
lanjutan. Sementara itu, kategori semak justru mengalami peningkatan paling signifikan, yakni sebesar 443,35 hektar (+3,65%). Peningkatan ini menunjukkan adanya penambahan luas area yang didominasi vegetasi semak pada wilayah penelitian. Berdasarkan hasil simulasi perubahan tutupan lahan, perubahan tersebut mencerminkan adanya transisi dari beberapa kelas tutupan lahan menuju kelas semak selama periode prediksi.

Temuan ini menunjukkan bahwa dinamika penggunaan lahan di masa depan perlu dikelola secara berkelanjutan, dengan memperhatikan keseimbangan antara pembangunan dan konservasi lingkungan. Hasil Transition Potential Modelling (TPM) menggunakan Artificial Neural Network (ANN) menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mempelajari hubungan antara perubahan tutupan lahan dan faktor-faktor pendorong yang digunakan.

Nilai minimum validation error sebesar 0,08660 menunjukkan bahwa model mampu mencapai tingkat kesalahan yang relatif rendah selama proses pelatihan. Selain itu, nilai Kappa sebesar 0,57173 termasuk dalam kategori kesesuaian sedang (moderate agreement), yang menunjukkan adanya kecocokan yang cukup baik antara pola perubahan yang dipelajari model dan data referensi (Arsanjani et al., 2013).



Gambar 7. Tangkapan Layar Hasil Tahap Transition Potential Modeling (TPM) Menggunakan Molusce QGIS



Gambar 8. Tangkapan Layar Hasil Tahap Validation Menggunakan Molusce QGIS

Hasil ini mengindikasikan bahwa model telah mampu mengenali pola perubahan tutupan lahan yang terjadi pada wilayah penelitian, meskipun masih terdapat ketidakpastian dalam merepresentasikan seluruh dinamika spasial yang kompleks. Secara keseluruhan, hasil TPM menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang memadai untuk digunakan dalam prediksi perubahan tutupan lahan, meskipun peningkatan kualitas data masukan dan penambahan variabel pendorong yang lebih representatif berpotensi meningkatkan performa model ditingkatkan. Pada Gambar 7 merupakan

tangkapan layar hasil TPM prediksi tutupan Lahan Tahun 2031.

Gambar 8 merupakan hasil validasi akhir terhadap prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan Molusce QGIS menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Nilai persentase kecocokan sebesar 82,97% menunjukkan bahwa mayoritas hasil prediksi telah sesuai dengan kondisi aktual pada tahun 2031.

Lebih lanjut, nilai Kappa keseluruhan (overall) sebesar 0,74841 mengindikasikan bahwa model memiliki akurasi tinggi dan mampu menghasilkan prediksi yang secara statistik jauh lebih baik dibandingkan dengan tebakan acak (Liu et al., 2019).

Nilai Kappa histogram sebesar 0,90339 memperlihatkan bahwa distribusi kelas tutupan lahan dalam hasil prediksi sangat mendekati distribusi kelas pada data aktual, menunjukkan bahwa model mampu memperkirakan komposisi kelas lahan secara kuantitatif dengan sangat akurat.

Sementara itu, nilai Kappa location sebesar 0,82845 menandakan bahwa model tidak hanya akurat dalam memprediksi jumlah perubahan, tetapi juga tepat dalam memetakan lokasi perubahan tersebut secara spasial.

Secara keseluruhan, hasil ini mengonfirmasi bahwa model prediksi yang dibangun telah mampu merepresentasikan dinamika perubahan lahan dengan tingkat keandalan yang tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang dan pengambilan kebijakan pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan. Perbedaan antara hasil TPM dan validasi akhir menunjukkan bahwa kedua tahapan tersebut mengevaluasi aspek model yang berbeda. TPM digunakan untuk menilai kemampuan model dalam mempelajari potensi transisi perubahan tutupan lahan berdasarkan faktor-faktor pendorong yang digunakan, sedangkan validasi akhir mengevaluasi tingkat kesesuaian hasil simulasi spasial secara keseluruhan terhadap data referensi. Oleh karena itu, nilai Kappa validasi akhir yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kombinasi pendekatan Markov Chain dan Cellular Automata dalam MOLUSCE mampu menghasilkan simulasi perubahan tutupan lahan yang memiliki tingkat kesesuaian spasial yang baik.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis perubahan dan prediksi tutupan lahan di Kecamatan Pahandut, Kota Palangka Raya, menunjukkan adanya dinamika spasial yang signifikan selama periode pengamatan. Pada periode 2017–2024 terjadi peningkatan luas hutan dan lahan terbangun, sementara luas semak, badan air, dan lahan terbuka cenderung mengalami penurunan. Hasil matriks perubahan tutupan lahan menunjukkan bahwa sebagian besar perubahan berasal dari transisi kelas semak dan lahan terbuka menuju kelas hutan maupun lahan terbangun.

Prediksi tutupan lahan tahun 2031 menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan lahan terbangun sebesar 351,05 ha, disertai penurunan luas hutan, lahan terbuka, dan badan air. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa tekanan pembangunan perkotaan masih akan berlangsung pada masa mendatang dan berpotensi memengaruhi keberlanjutan fungsi ekologis wilayah.

Hasil validasi model menggunakan MOLUSCE menunjukkan tingkat keandalan yang baik dengan nilai Kappa Overall sebesar 0,74841, Kappa Histogram sebesar 0,90339, dan Kappa Location sebesar 0,82845. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu merepresentasikan pola perubahan tutupan lahan baik secara kuantitatif maupun spasial sehingga dapat digunakan sebagai alat pendukung

dalam analisis perubahan tutupan lahan dan perencanaan wilayah.

Berdasarkan hasil penelitian, diperlukan upaya pengendalian ekspansi kawasan terbangun melalui penguatan implementasi tata ruang, perlindungan kawasan yang masih memiliki fungsi ekologis penting, serta pengelolaan kawasan sempadan Sungai Kahayan secara berkelanjutan. Informasi prediktif yang dihasilkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pendukung dalam evaluasi kebijakan tata ruang dan penyusunan strategi pembangunan berkelanjutan di Kota Palangka Raya.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena prediksi perubahan tutupan lahan dilakukan berdasarkan pola historis perubahan dan faktor-faktor pendorong yang digunakan dalam model. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan faktor sosial-ekonomi, kebijakan tata ruang, pertumbuhan penduduk, dan skenario pembangunan wilayah agar prediksi perubahan tutupan lahan dapat menggambarkan berbagai kemungkinan perkembangan wilayah secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Acuña-Alonso, C., Novo, A., Rodríguez, J.L., Varandas, S., Álvarez, X., 2022. Modelling and evaluation of land use changes through satellite images in a multifunctional catchment: Social, economic and environmental implications. *Ecol. Inform.* 71. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101777>
- Afentina, McShane, P., Wright, W., 2020. Ethnobotany, rattan agroforestry, and conservation of ecosystem services in Central Kalimantan, Indonesia. *Agrofor. Syst.* 94, 639–650. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00428-x>
- Amgoth, A., Rani, H.P., Jayakumar, K. V., 2023. Exploring LULC changes in Pakhal Lake area, Telangana, India using QGIS MOLUSCE plugin. *Spat. Inf. Res.* 31, 429–438. <https://doi.org/10.1007/s41324-023-00509-1>
- Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W., Boloorani, A.D., 2013. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 21, 265–275. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.014>
- Baghel, S., Kothari, M.K., Tripathi, M.P., Singh, P.K., Bhakar, S.R., Dave, V., Jain, S.K., 2024. Spatiotemporal LULC change detection and future prediction for the Mand catchment using MOLUSCE tool. *Environ. Earth Sci.* 83. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-11381-5>
- Bramantio, B., Hizbaron, D.R., Khakhim, N., 2024. Prediction of the future landuse and land cover changes in the Parangtritis sand dune : a spatio temporal analysis using QGIS MOLUSCE. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1313/1/012014>
- Budi, M., Akhyar, 2021. Green open space detection and mapping using planetscope-3a image with vegetation index approach and supervised classification in Banda Aceh, Indonesia. *Forum Geogr.* 20, 145–159. <https://doi.org/10.5775/fg.2021.034.d>
- da Silva, V.S., Salami, G., da Silva, M.I.O., Silva, E.A., Monteiro

- Junior, J.J., Alba, E., 2020. Methodological evaluation of vegetation indexes in land use and land cover (LULC) classification. *Geol. Ecol. Landscapes* 4, 159–169.
<https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1608409>
- Dewa, D.D., Buchori, I., 2023. Impacts of rapid urbanization on spatial dynamics of land use-based carbon emission and surface temperature changes in the Semarang Metropolitan Region, Indonesia. *Environ. Monit. Assess.* 195.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10839-6>
- Fetene, D.T., Lohani, T.K., Mohammed, A.K., 2023. LULC change detection using support vector machines and cellular automata-based ANN models in Guna Tana watershed of Abay basin, Ethiopia. *Environ. Monit. Assess.* 195. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11968-2>
- Frazier, A.E., Hemingway, B.L., 2021. A technical review of planet smallsat data: Practical considerations for processing and using planetscope imagery. *Remote Sens.* 13. <https://doi.org/10.3390/rs13193930>
- Gala, T., Boakye, L., 2020. Spatiotemporal analysis of remotely sensed Landsat time series data for monitoring 32 years of urbanization. *Int. J. Hum. Cap. Urban Manag.* 5, 85–98.
<https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2020.02.01>
- Handayani, W., Chigbu, U.E., Rudiarto, I., Surya Putri, I.H., 2020. Urbanization and increasing flood risk in the Northern Coast of Central Java-Indonesia: An assessment towards better land use policy and flood management. *Land* 9.
<https://doi.org/10.3390/LAND9100343>
- Huang, L., Liao, F.H., Lohse, K.A., Larson, D.M., Fragkias, M., Lybecker, D.L., Baxter, C. V., 2019. Land conservation can mitigate freshwater ecosystem services degradation due to climate change in a semiarid catchment: The case of the Portneuf River catchment, Idaho, USA. *Sci. Total Environ.* 651, 1796–1809.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.260>
- Ibárcena, V., 2023. Impacts of urban sprawl on the ecological connectivity of landscapes in the Chili River, Arequipa - Peru. *ZEMCH Int. Conf.*
- Iskandar, B., Saidah, Kurnia, A.A., Jauhari, A., Zannah, F., 2024. Modeling Land Cover Change Using MOLUSCE in Kahayan Tengah Forest Management Unit, Kalimantan Tengah. *J. Sylva Lestari* 12, 242–257.
<https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.865>
- Jaroszewicz, J., Denis, M., Fijałkowska, A., Graszka, O., Pluto-Kossakowska, J., Krzysztofowicz, S., 2023. Spatially explicit mixed-use indicators to measure life quality across the city — A conceptual framework and case study: Piaseczno — A medium sized city in the peri-urban zone of Warsaw, Poland. *Cities* 137.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104296>
- Jia, J.S., Lu, X., Yuan, Y., Xu, G., Jia, J., Christakis, N.A., 2020. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. *Nature* 582, 389–394.
<https://doi.org/10.1038/s41586-020-2284-y>
- Larasati, B., Kanzaki, M., Purwanto, R.H., Sadono, R., 2019. Fire Regime in a Peatland Restoration Area: Lesson from Central Kalimantan. *J. Ilmu Kehutan.* 13, 210.
<https://doi.org/10.22146/jik.52436>
- Lin, C.Y., Shieh, P.Y., Wu, S.W., Wang, P.C., Chen, Y.C., 2022. Environmental indicators combined with risk analysis to evaluate potential wildfire incidence on the Dadu Plateau in Taiwan. *Nat. Hazards* 113, 287–313. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05300-3>
- Liu, S., Yu, Q., Wei, C., 2019. Spatial-temporal dynamic analysis of land use and landscape pattern in Guangzhou, China: Exploring the driving forces from an urban sustainability perspective. *Sustain.* <https://doi.org/10.3390/su11236675>
- Lukas, P., Melesse, A.M., Kenea, T.T., 2023. Prediction of Future Land Use/Land Cover Changes Using a Coupled CA-ANN Model in the Upper Omo-Gibe River Basin, Ethiopia. *Remote Sens.* 15.
<https://doi.org/10.3390/rs15041148>
- Nyamekye, C., Kwofie, S., Agyapong, E., Ofosu, S.A., Arthur, R., Appiah, L.B., 2021. Integrating support vector machine and cellular automata for modelling land cover change in the tropical rainforest under equatorial climate in Ghana. *Curr. Res. Environ. Sustain.* 3.
<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100052>
- Paul, R.F., Cai, Y., Peng, B., Yang, W.H., Guan, K., DeLucia, E.H., 2020. Spatiotemporal derivation of intermittent ponding in a maize-soybean landscape from planet labs cubesat images. *Remote Sens.* 12.
<https://doi.org/10.3390/rs12121942>
- Pei, N., Kress, W.J., 2020. Research in forest biology in the era of climate change and rapid urbanization. *Forests* 11.
<https://doi.org/10.3390/f11010026>
- Permana, I., Ludang, Y., 2020. Analysis of open spaces in flood-prone areas in small-medium cities: A Case study of Palangkaraya City. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012145>
- Priyadi, P., Sedyono, E., Prasetyo, S.Y.J., 2020. Penataan Ruang Kawasan Agropolitan di Kabupaten Semarang dengan Metode Artificial Neural Network. *J. Transform.* 17, 134.
<https://doi.org/10.26623/transformatika.v17i2.1615>
- Rachmansyah, A., Halim, L.F., Soemarno, 2019. Sustainable development approach to residential planning in the rapid growth Urban area: A case study in Singosari district, Malang region, East Java province. *Geogr. Tech.* 14, 3–12.
https://doi.org/10.21163/gt_2019.141.13
- Rahaman Rahat, M.A., Roy, N., Khan Manon, M.R., Ullah, M.R., Islam, M.M., Rashid, M.T., Hasan, K.R., Chakma, S., Rahman, M.A., 2022. Temporal distribution of fishery resources in Payra River: relationship with climatological changes, ecological assessment, and threat assessment. *Heliyon* 8, e10584.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10584>
- Rahman, A., Tharzhiansyah, M., Rizky, M., Vita, H.S.M., 2021. Problems and urban sustainable development in wetlands based on the thermal conditions. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/780/1/012022>
- Ramadhan, S.A., Kurniawan, A., Yudha, I.S., Yuwono, 2021. InaCORS-BIG Service for Practice Survey. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/936/1/012031>
- Ramdhani, M., Akhwady, R., Arifin, T., Purbani, D., Yulius, Pryambodo, D.G., Rahmania, R., Maftukhaturrizqoh, O., Asyiri, A., Hidayat, S., Ningsih, A., Sadad, 2024. Using Neural Networks for Sustainable Land Use Prediction in Sumbawa Regency, Indonesia. *Appl. Environ. Res.* 46.

- <https://doi.org/10.35762/AER.2024045>
- Raya, B.P.S.K.P., 2023. Jumlah Curah Hujan Menurut Bulan di Kota Palangka Raya (mm) [WWW Document]. URL <https://palangkakota.bps.go.id/id/query-builder> (accessed 5.1.25).
- Spencer, K.L., Deere, N.J., Aini, M., Avriandy, R., Campbell-Smith, G., Cheyne, S.M., Gaveau, D.L.A., Humle, T., Hutabarat, J., Loken, B., Macdonald, D.W., Marshall, A.J., Morgans, C., Rayadin, Y., Sanchez, K.L., Spehar, S., Suanto, Sugardjito, J., Wittmer, H.U., Supriatna, J., Struebig, M.J., 2023. Implications of large-scale infrastructure development for biodiversity in Indonesian Borneo. *Sci. Total Environ.* 866, 161075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161075>
- Tempa, K., Aryal, K.R., 2022. Semi-automatic classification for rapid delineation of the geohazard-prone areas using Sentinel-2 satellite imagery. *SN Appl. Sci.* 4. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05028-6>
- Vulova, S., Kuhlemann, L.M., Tetzlaff, D., Soulsby, C., Kleinschmit, B., 2019. Assessment of evapotranspiration from urban vegetation across space and time: A case study in Berlin. 2019 10th Int. Work. Anal. Multitemporal Remote Sens. Images, MultiTemp 2019. <https://doi.org/10.1109/MultiTemp.2019.8866903>
- Wahyudie, M., Ferdinan, Salampak, Yulianti, N., 2021. Forest and land fire prevention and management: Damage environmental of central Kalimantan, Indonesia. *Int. J. Biol. Biomed. Eng.* 15, 87–91. <https://doi.org/10.46300/91011.2021.15.11>
- Wang, H., Liu, L., 2024. Radiation Consistency Correction Method of Optical High Resolution Dual Camera Image. *Springer Proc. Phys.* https://doi.org/10.1007/978-981-97-6718-2_27
- Weng, Q., 2002. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *J. Environ. Manage.* 64, 273–284. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0509>
- Zhang, Yunlin, Tian, L., Ding, B., Zhang, Yanwei, Liu, X., Wu, Y., 2024. Driving factors and prediction model of forest fire in Guizhou Province. *Chinese J. Ecol.* 43, 282–289. <https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202401.017>
- Zhu, Y., Ling, G.H.T., 2022. A Systematic Review of Morphological Transformation of Urban Open Spaces: Drivers, Trends, and Methods. *Sustain.* <https://doi.org/10.3390/su141710856>
- Zulkarnain, Z., Hartanto, R.M.N., Rahmatullah, S.N., Djamaludin, O.J., 2020. Development and Empowerment of Peatland Ecosystem (Analysis of the Peat Ecosystem Recovery and Development Program in the Districts of Kutai Kartanegara and East Kutai, East Kalimantan Province). *Int. J. Multicult. Multireligious Underst.* 7, 1. <https://doi.org/10.18415/ijmmu.v7i6.1658>