



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Klasifikasi Tutupan Lahan Perkotaan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 dan Pendekatan *Machine Learning* Algoritma *Random Forest* (Studi Kasus: Kota Palu)

Urban Land Cover Classification Using Sentinel-2 Satellite Imagery and the Random Forest Machine Learning Algorithm (Case Study: Palu City)

Yan Radhinal^{1*}, Azizah Putri Abdi², Despry Nur Annisa Ahmad³

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Tadulako, Yanradhinal@untad.ac.id

²Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Tadulako, azizahputriabdi@untad.ac.id

³Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Muhammadiyah Bulukumba, desprynurannisa@umbulukumba.ac.id

*Corresponding Author: E-mail: yanradhinal@untad.ac.id

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 07 Aug, 2025

Revised: 23 Aug, 2025

Accepted: 26 Aug, 2025

Kata Kunci:

Tutupan Lahan, *Machine Learning*, *Random Forest*

Keywords:

Land Cover, *Machine Learning*, *Random Forest*

DOI: 10.56338/jks.v8i7.8301

ABSTRAK

Data tutupan lahan (*land cover*) yang akurat dan mutakhir merupakan fondasi penting bagi perencanaan tata ruang, pemantauan lingkungan, dan pengambilan kebijakan pembangunan di wilayah perkotaan. Penelitian ini menyajikan sebuah metode yang efisien untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kota Palu menggunakan citra satelit Sentinel-2 dan algoritma *machine learning Random Forest*. Dengan memanfaatkan platform komputasi awan Google Earth Engine (GEE), citra satelit untuk tahun 2024 diproses menjadi sebuah komposit bebas awan. Klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan data spektral dari citra tersebut untuk mengidentifikasi lima kelas tutupan lahan utama. Lima kelas tutupan lahan utama diidentifikasi: (1) Lahan Terbangun, (2) Vegetasi Rapat, (3) Vegetasi Jarang, (4) Badan Air, dan (5) Lahan Terbuka/Pasir. Akurasi model dievaluasi menggunakan metode validasi standar (30% dari total sampel) dan menunjukkan akurasi keseluruhan 95,27% dengan koefisien Kappa 0,819. Hasil penelitian ini berupa peta tutupan lahan digital beresolusi tinggi yang dapat menjadi data dasar krusial bagi pemerintah Kota Palu dalam merumuskan kebijakan tata ruang, memantau perubahan lingkungan, serta mendukung perencanaan mitigasi bencana yang lebih efektif.

ABSTRACT

Accurate and up-to-date land cover data is an important foundation for spatial planning, environmental monitoring, and policy-making in urban areas. This study presents an efficient method for classifying land cover in Palu City using Sentinel-2 satellite imagery and the Random Forest machine learning algorithm. By leveraging the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform, satellite imagery for the year 2024 was processed into a cloud-free composite. Classification was performed using spectral data from the imagery to identify five primary land cover classes. The five main land cover classes identified are: (1) Built-up Areas, (2) Dense Vegetation, (3) Sparse Vegetation, (4) Water Bodies, and (5) Open Land/Sand. The model's accuracy was evaluated using standard validation methods (30% of the total sample) and showed an overall accuracy of 95.27% with a Kappa coefficient of 0.819. The results of this study are high-resolution digital land cover maps that can serve as critical baseline data for the Palu City government in formulating spatial planning policies, monitoring environmental changes, and supporting more effective disaster mitigation planning.

PENDAHULUAN

Kota Palu sebagai pusat kegiatan ekonomi dan administrasi di Provinsi Sulawesi Tengah, terus mengalami perkembangan yang mendorong perubahan pada lanskap fisiknya. Pemahaman mengenai distribusi dan luasan tutupan lahan menjadi krusial untuk mengarahkan pembangunan yang berkelanjutan, mengelola sumber daya alam, dan merencanakan mitigasi bencana, terutama di wilayah

rawan seperti Indonesia. Kajian penutup lahan atau tata guna lahan merupakan salah satu elemen penting dalam perencanaan pengembangan suatu wilayah. Dengan adanya peta tersebut, pemerintah maupun pihak swasta dapat merencanakan pembangunan infrastruktur yang sesuai dan efisien (Profilyanti, 2015).

Secara tradisional, pemetaan tutupan lahan melalui survei lapangan dan digitasi manual merupakan proses yang mahal dan memakan waktu. Kehadiran kemajuan teknologi penginderaan jauh dan komputasi awan menawarkan solusi yang efektif untuk mengatasi tantangan ini dengan fungsi analitik yang baik (Prasita, 2012). Berdasarkan hal tersebut, maka penyajian data tutupan lahan perlu diintegrasikan dengan kemajuan teknologi penginderaan jauh.

Penggunaan teknologi peninderaan jauh sudah banyak digunakan untuk menganalisis vegetasi. Hal ini dikarenakan kemampuan citra memiliki banyak keuntungan seperti resolusi temporal yang baik dan dapat digunakan untuk cakupan wilayah yang luas dalam waktu yang singkat. Terdapat banyak citra yang dapat digunakan untuk menganalisis vegetasi, namun hal tersebut disesuaikan dengan kebutuhan (Marlina, 2022). Meskipun pemanfaatan teknologi penginderaan jauh untuk pemetaan tutupan lahan telah banyak dilakukan, studi yang secara spesifik menggunakan pendekatan *machine learning* yang menerapkan algoritma seperti *Random Forest* di wilayah perkotaan Indonesia yang berkembang pesat, seperti Kota Palu, masih terbatas.

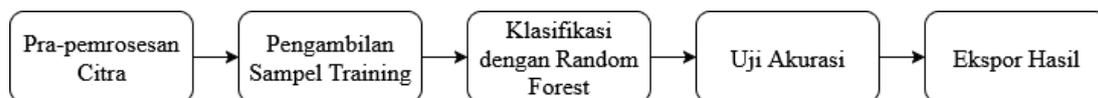
Penelitian-penelitian sebelumnya secara umum, seringkali masih menggunakan metode klasifikasi konvensional yang memakan waktu atau belum sepenuhnya mengoptimalkan platform komputasi awan seperti *Google Earth Engine* (GEE), yang memungkinkan analisis data skala besar secara efisien tanpa memerlukan infrastruktur komputasi yang mahal. Kondisi ini menunjukkan celah penelitian untuk menguji efektivitas dan akurasi metode klasifikasi modern yang cepat, objektif, dan dapat direplikasi untuk menyediakan data tutupan lahan terkini bagi perencanaan pembangunan di Kota Palu. Proses klasifikasi yang dilakukan menggunakan data citra satelit. Klasifikasi citra merupakan salah satu aplikasi dari ilmu penginderaan jauh (*remote sensing*) yang digunakan untuk menginterpretasi dan mengidentifikasi suatu wilayah (Yudhono, 2017).

Citra satelit yang dapat digunakan dalam mengaplikasikan klasifikasi modern adalah Sentinel-2. Citra Sentinel-2 merupakan citra yang disediakan secara gratis oleh program Copernicus Eropa, dengan resolusi spasial hingga 10 meter, dan resolusi temporal yang tinggi. Karakteristik jenis citra ini menjadikannya sangat ideal untuk pemantauan perkotaan dan vegetasi, dan telah banyak diterapkan dalam konteks Indonesia. Di sisi lain, platform *Google Earth Engine* (GEE) menyediakan akses ke arsip data satelit global dan kekuatan komputasi masif, memungkinkan analisis data spasial skala besar tanpa memerlukan perangkat keras khusus.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan *machine learning* menggunakan algoritma *Random Forest* untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kota Palu menggunakan data citra Sentinel-2 tahun 2024. Metode ini dipilih karena efisiensi, objektivitas, dan kemampuannya untuk direplikasi dalam menghasilkan peta tutupan lahan perkotaan yang akurat. Implikasi dari penelitian ini nantinya dapat dijadikan masukan dalam penyusunan dokumen tata ruang.

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian ini sepenuhnya dilakukan di dalam platform *Google Earth Engine*, mulai dari akuisisi data hingga analisis. Alur kerja penelitian dijelaskan secara rinci pada bagian-bagian berikut.



Gambar 1. Alur Kerja Penelitian

Lokasi, Data, dan Perangkat Lunak

- a. Lokasi Studi: Seluruh wilayah administrasi Kota Palu, Sulawesi Tengah.
- b. Data Citra: Koleksi data citra satelit COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED (*Sentinel-2 Surface Reflectance*) untuk periode 1 Januari 2024 hingga 31 Desember 2024. Data *Surface Reflectance* (Level-2A) yang dimana GEE menyediakan akses gratis ke data besar dan terkini serta mendukung pemetaan interaktif (Latifa & Marsisno, 2024)
- c. Perangkat Lunak: Seluruh pemrosesan dilakukan menggunakan *Google Earth Engine Code Editor*. Visualisasi dan pembuatan peta final dilakukan menggunakan QGIS.

Tahapan Penelitian

Pra-pemrosesan Citra Tahap ini bertujuan untuk menyiapkan satu citra tunggal yang bersih dan bebas dari gangguan atmosfer dari serangkaian citra satelit. Proses ini terdiri dari empat langkah utama:

1. Filtering: Koleksi citra Sentinel-2 disaring berdasarkan tiga kriteria: (1) batas area studi, (2) rentang waktu, dan (3) persentase tutupan awan di bawah 20%.
2. Cloud Masking: Sebuah fungsi yang diterapkan pada setiap citra dalam koleksi. Fungsi ini memanfaatkan band 'SCL' (*Scene Classification Layer*) yang ada pada data Sentinel-2. Piksel yang diklasifikasikan sebagai bayangan awan (nilai 3), awan dengan probabilitas sedang (nilai 8), awan dengan probabilitas tinggi (nilai 9), dan awan tipis *cirrus* (nilai 10) dihilangkan atau ditutupi (di-masking).
3. Compositing Median Filter: Setelah proses masking, seluruh citra dalam koleksi digabungkan menjadi satu citra komposit tunggal menggunakan fungsi median. Metode ini dipilih untuk mereduksi noise dan menghasilkan representasi piksel yang paling umum dari rentang waktu yang ditentukan (Al-Arafi et al., 2024).
4. Clipping: Citra komposit yang dihasilkan kemudian dipotong sesuai dengan batas poligon area studi Kota Palu.

Pengambilan Sampel Training Tahap ini adalah inti dari klasifikasi terbimbing, di mana kita mengajari mesin untuk mengenali pola setiap kelas tutupan lahan.

1. Definisi Kelas: Lima kelas tutupan lahan didefinisikan: (1) Lahan Terbangun, (2) Vegetasi Rapat, (3) Vegetasi Jarang, (4) Badan Air, dan (5) Lahan Terbuka/Pasir.
2. Digitasi Sampel: Dengan menggunakan citra satelit resolusi tinggi sebagai latar belakang di GEE, poligon-poligon kecil yang representatif untuk setiap kelas digambar secara manual. Kumpulan poligon untuk setiap kelas disimpan dalam sebuah *layer* geometri terpisah. Kualitas dan distribusi sampel sangat menentukan akurasi akhir. Oleh karena itu, sampel diambil secara tersebar di seluruh area studi untuk mencakup variasi internal setiap kelas.
3. Penggabungan Sampel: Semua *layer* geometri dari setiap kelas digabungkan menjadi satu *FeatureCollection* yang disebut *Sampel Training*. Setiap fitur di dalam koleksi ini diberi properti '*landcover*' yang berisi nilai numerik (1-5) sesuai dengan kelasnya. Secara total, sebanyak 326 poligon sampel yang representatif didigitasi secara manual, yang mencakup ribuan piksel data. Pengambilan sampel dilakukan dengan strategi tersebar di seluruh wilayah studi untuk memastikan setiap kelas tutupan lahan terwakili dengan baik dan untuk mencakup variasi spektral internal dalam setiap kelas seperti, berbagai jenis atap di kelas Lahan Terbangun atau berbagai kerapatan vegetasi di kelas Vegetasi Jarang.

Klasifikasi dengan Random Forest

1. Ekstraksi Data Training: Fungsi digunakan untuk mengekstrak nilai-nilai piksel dari citra komposit 2024 pada lokasi yang sama dengan poligon *Sampel Training*. Proses ini menggunakan

empat band spektral dasar sebagai fitur input: B2 (Biru), B3 (Hijau), B4 (Merah), dan B8 (*Near Infrared*). Pemilihan keempat band dasar ini didasarkan pada pertimbangan bahwa kombinasi band tampak (*visible*) dan inframerah dekat (*near-infrared*) sudah sangat efektif untuk membedakan karakteristik spektral fundamental antara vegetasi, tanah, air, dan area terbangun (Bill Donatien et al., 2024). Penggunaan empat band ini juga bertujuan untuk menjaga efisiensi komputasi dan menghindari redundansi data (*multicollinearity*) yang mungkin terjadi jika terlalu banyak band yang berkorelasi tinggi dimasukkan, tanpa mengurangi akurasi klasifikasi secara signifikan untuk level kelas yang diteliti (Saeed et al., 2023).

2. Pelatihan Model: Sebuah model *classifier* dibuat menggunakan algoritma *Random Forest*. *Random Forest* adalah metode *ensemble learning* yang membangun sejumlah besar pohon keputusan (*decision trees*) pada saat pelatihan. Metode ini dipilih karena ketahanannya terhadap *overfitting* dan kemampuannya untuk menangani data berdimensi tinggi secara efisien (Justam et al., 2024).
3. Aplikasi Klasifikasi: Model yang telah dilatih kemudian diterapkan pada seluruh piksel citra komposit 2024 menggunakan fungsi *classify*. Hasilnya adalah sebuah citra baru di mana setiap piksel memiliki nilai antara 1 hingga 5, yang merepresentasikan kelas tutupan lahan yang diprediksi oleh model.

Uji Akurasi untuk mengukur seberapa baik kinerja model, dilakukan proses validasi:

1. Pembagian Data: trainingData yang ada secara acak dibagi menjadi dua bagian: 70% untuk melatih model validasi (*Training Partition*) dan 30% sisanya untuk pengujian (*Testing Partition*). Pembagian data dengan rasio 70% untuk pelatihan dan 30% untuk pengujian merupakan praktik standar dalam validasi model *machine learning* yang disebut metode *hold-out* (Sihombing & Arsani, 2021). Rasio ini dipilih untuk memberikan keseimbangan yang baik, di mana model memiliki data yang cukup banyak (70%) untuk dapat belajar dengan optimal, sementara sisa data (30%) yang cukup besar dan sepenuhnya independen digunakan untuk memberikan evaluasi kinerja model yang objektif dan tidak bias.
2. Validasi Silang: Model *Random Forest* yang baru dilatih hanya menggunakan *Training Partition*. Kemudian, model ini digunakan untuk mengklasifikasikan seluruh data pada *Testing Partition* untuk mendapatkan matriks kesalahan yang komprehensif.
3. Matriks Kesalahan: Hasil prediksi pada data tes dibandingkan dengan data sebenarnya (label dari digitasi manual) dan disajikan dalam sebuah *Error Matrix* atau *Confusion Matrix*. Dari matriks ini, dua metrik utama dihitung:
 - Akurasi Keseluruhan (*Overall Accuracy*): Persentase total piksel yang diklasifikasikan dengan benar.
 - Koefisien Kappa: Ukuran statistik yang mengevaluasi kesesuaian hasil klasifikasi dengan data referensi, dengan memperhitungkan kemungkinan kesepakatan yang terjadi secara kebetulan (De Raadt et al., 2019)

Ekspor Hasil

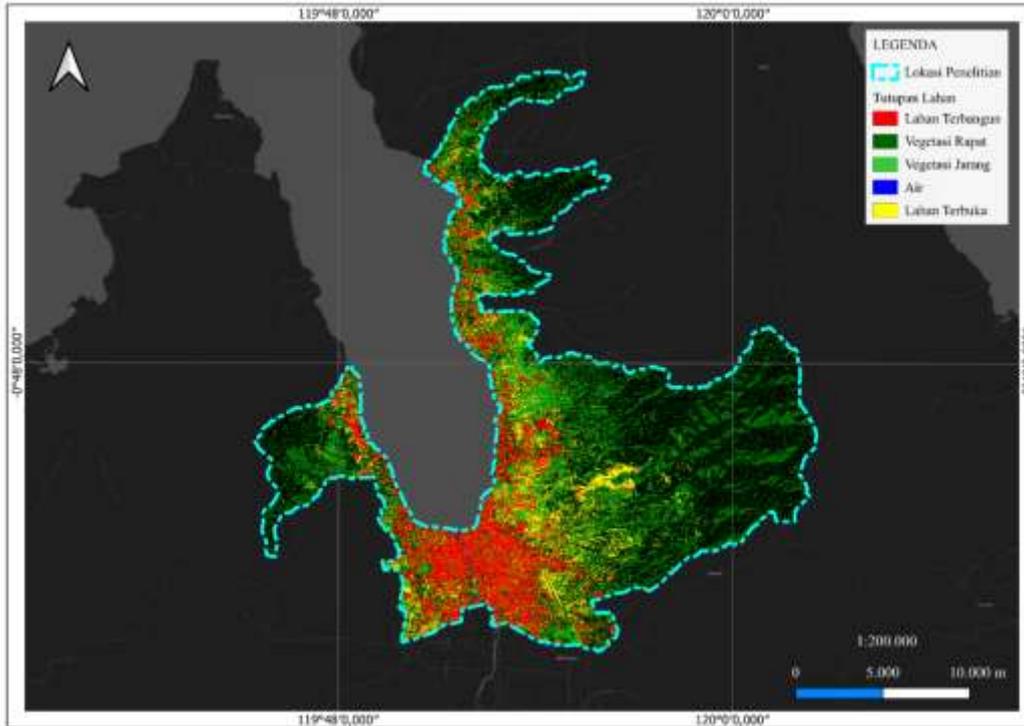
Peta tutupan lahan final dikonversi tipe datanya menjadi Unsigned Integer 8-bit untuk memastikan kompatibilitas, lalu diekspor dalam format GeoTIFF.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Palu merupakan pusat pertumbuhan utama di Provinsi Sulawesi Tengah yang memiliki dinamika pembangunan pesat, sekaligus tantangan lingkungan yang kompleks. Kondisi tersebut tercermin pada variasi tutupan lahan di Kota Palu, sebagaimana diuraikan dalam pembahasan berikut.

Klasifikasi Tutupan Lahan Kota Palu Tahun 2024

Klasifikasi tutupan lahan Kota Palu tahun 2024 menggunakan algoritma *Random Forest* memberikan gambaran pola pemanfaatan ruang. Gambar 2 menyajikan hasil klasifikasi tutupan lahan Kota Palu tahun 2024. Peta ini secara visual merepresentasikan distribusi spasial dari kelima kelas tutupan lahan di seluruh wilayah Kota Palu.



Gambar 2. Peta Tutupan Lahan Kota Palu Hasil Klasifikasi Random Forest Tahun 2024 (Sumber: Hasil Analisis 2025)

Gambar 2 menyajikan informasi tutupan lahan Kota Palu yang didominasi oleh vegetasi. Kemudian tutupan lahan berupa lahan terbangun, umumnya berada di wilayah dataran di seluruh wilayah kecamatan. Luasan masing-masing tutupan lahan di Kota Palu tahun 2024 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Tutupan Lahan di Kota Palu Tahun 2024

No	Kelas Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Lahan Terbangun	4398,78	12,28
2	Vegetasi Rapat	22063,52	61,60
3	Vegetasi Jarang	5695,44	15,90
4	Badan Air	88,54	0,25
5	Lahan Terbuka/Pasir	3572,13	9,97
Total		35818,41	100.00%

Sumber: Hasil Analisis 2025

Analisis Akurasi Model

Evaluasi model menunjukkan kinerja yang sangat tinggi. Akurasi keseluruhan (*Overall Accuracy*) yang dicapai adalah 95,27%, Koefisien Kappa sebesar 0,819 mengindikasikan tingkat

kesesuaian yang sangat baik (*substantial agreement*) antara hasil klasifikasi dan data referensi, menurut interpretasi yang juga umum dirujuk dalam literatur penginderaan jauh di Indonesia. Matriks kesalahan detail yang menjadi dasar perhitungan ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Kesalahan (*Confusion Matrix*) dan Metrik Akurasi per Kelas

Kelas Sebenarnya (Referensi) ↓	Prediksi: 1 (Terbangun)	Prediksi: 2 (Veg. Rapat)	Prediksi: 3 (Veg. Jarang)	Prediksi: 4 (Air)	Prediksi: 5 (Lahan Terbuka)	Total Sampel	Producer's Accuracy (%)
1 (Terbangun)	157	20	13	0	14	204	76,96
2 (Veg. Rapat)	4	4736	53	0	3	4796	98,75
3 (Veg. Jarang)	0	141	442	0	0	583	75,81
4 (Air)	0	0	0	13	0	13	100,0
5 (Lahan Terbuka)	0	3	17	1	67	88	76,14
Total Prediksi	161	4.900	525	14	84	5.684	
User's Accuracy (%)	97,52	96,65	84,19	92,86	79,76		

Sumber: Hasil Analisis 2025

Akurasi keseluruhan yang mencapai 95,27% menunjukkan bahwa model Random Forest sangat efektif dalam memproses data Sentinel-2 untuk pemetaan tutupan lahan. Tingginya akurasi ini sebagian besar disumbang oleh performa luar biasa model dalam mengidentifikasi kelas Vegetasi Rapat, yang merupakan kelas paling dominan dalam sampel data (mencakup lebih dari 84% data)

- Akurasi Produsen (*Producer's Accuracy*) mengukur seberapa baik piksel referensi di lapangan berhasil diklasifikasikan dengan benar. Kelas Badan Air (100%) dan Vegetasi Rapat (98,75%) menunjukkan akurasi produsen tertinggi, artinya model hampir tidak pernah melewati kedua kelas ini. Sebaliknya, kelas Vegetasi Jarang (75,81%) dan Lahan Terbuka (76,14%) memiliki akurasi produsen yang lebih rendah, menunjukkan adanya beberapa area dari kelas ini yang salah diklasifikasikan sebagai kelas lain.
- Akurasi Pengguna (*User's Accuracy*) mengukur seberapa sering sebuah kelas yang ada di peta benar-benar mewakili kelas tersebut di lapangan. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperbaiki, kelas Lahan Terbangun (97,52%), Vegetasi Rapat (96,65%), dan Air (92,86%) menunjukkan akurasi pengguna yang sangat tinggi. Namun, dua kelas lainnya menunjukkan akurasi yang lebih rendah, yaitu Vegetasi Jarang (84,19%) dan Lahan Terbuka (79,76%). Ini berarti, jika kita memilih sebuah piksel secara acak dari peta yang diklasifikasikan sebagai lahan terbangun, ada kemungkinan 97,52% piksel tersebut memang benar merupakan lahan terbangun di lapangan.
- Kebingungan Antar Kelas (*Commission/Omission Errors*): Kebingungan terbesar terjadi antara Vegetasi Rapat dan Vegetasi Jarang. Matriks menunjukkan 141 sampel Vegetasi Jarang salah diklasifikasikan sebagai Vegetasi Rapat. Fenomena ini merupakan tantangan umum dalam klasifikasi vegetasi, di mana transisi spektral yang gradual antara kanopi yang rapat dan jarang seringkali menyebabkan tumpang tindih kelas. hal ini disebabkan karena korelasi-band dalam beberapa kelasnya dan dapat diatasi dengan mengatur ulang kotak-kotaknya (Profilyanti, 2015). Selain itu, ada sedikit kebingungan antara Lahan Terbangun dengan Lahan Terbuka, yang mungkin disebabkan oleh kemiripan spektral antara material atap bangunan berwarna cerah dengan pasir atau tanah kosong, sebuah isu yang dikenal sebagai *spectral confusion* di

area perkotaan heterogen (Yuyun et al., 2018), di mana campuran material bangunan dan ruang terbuka hijau menciptakan respons spektral yang kompleks.

Tingkat akurasi keseluruhan sebesar 95,27% yang dicapai dalam penelitian ini menunjukkan kinerja metode yang sangat kompetitif. Studi sejenis yang juga menerapkan algoritma Random Forest pada citra Sentinel-2 di berbagai wilayah perkotaan di Indonesia. Sebagai contoh, penelitian Klasifikasi Tutupan Lahan pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan dengan metodologi serupa melaporkan akurasi keseluruhan sebesar 91,39% (Marlina, 2022). Studi lain di Ibu Kota Negara Nusantara mendapatkan akurasi 88% (Al Fathoni et al., 2025) menggunakan metode yang sama. Capaian akurasi dalam penelitian ini yang melampaui angka-angka tersebut mengindikasikan bahwa pemilihan sampel training yang representatif dan penerapan alur kerja yang sistematis di platform Google Earth Engine sangat efektif untuk menghasilkan klasifikasi yang andal di lingkungan perkotaan yang heterogen seperti Kota Palu. Hasil ini memperkuat argumen bahwa kombinasi data Sentinel-2 dan algoritma Random Forest merupakan pendekatan yang sangat robust dan dapat diandalkan untuk pemantauan tutupan lahan perkotaan secara berkala.

Meskipun model menunjukkan akurasi yang sangat tinggi, penelitian ini memiliki dua keterbatasan utama yang dapat menjadi fokus perbaikan di masa depan terkait kebingungan spektral (spectral confusion) antara kelas Vegetasi Rapat dan Vegetasi Jarang. Penelitian selanjutnya dapat mengadopsi pendekatan klasifikasi berbasis objek (Object-Based Image Analysis - OBIA). Metode OBIA tidak hanya mengandalkan nilai spektral per-piksel, tetapi juga mempertimbangkan bentuk, tekstur, dan konteks spasial dari sekelompok piksel (objek) (Tassi et al., 2021), sehingga metode ini berpotensi lebih baik dalam menghasilkan gambar dan segmentasi area vegetasi dengan kerapatan yang berbeda (Tassi & Vizzari, 2020).

Implikasi Hasil untuk Perencanaan Tata Ruang dan Mitigasi Bencana di Kota Palu

Peta tutupan lahan yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak hanya menyajikan data teknis dengan akurasi tinggi, tetapi juga menawarkan wawasan strategis yang dapat diaplikasikan secara langsung oleh pemangku kepentingan, terutama Pemerintah Kota Palu, dalam tiga bidang utama yaitu perencanaan tata ruang, pengelolaan lingkungan, dan mitigasi bencana.

Pertama, analisis sebaran Lahan Terbangun yang teridentifikasi seluas 4.398,78 Ha (12,28% dari total area) memberikan data dasar yang esensial untuk evaluasi tata ruang. Sebaran area terbangun yang terkonsentrasi di wilayah pesisir dan lembah, sebagaimana terlihat pada Gambar 2, dapat digunakan oleh dinas terkait untuk memvalidasi kesesuaiannya dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang berlaku. Peta ini juga secara efektif menyoroti area-area pertumbuhan kota (*urban sprawl*) yang mungkin tidak terencana, sehingga memungkinkan intervensi kebijakan untuk penataan infrastruktur dasar seperti drainase, sanitasi, dan jaringan jalan yang lebih terarah.

Kedua, dominasi Vegetasi Rapat dan Jarang yang secara kolektif mencakup lebih dari 77% wilayah studi menegaskan peran vital lanskap hijau bagi Kota Palu. Sebaran Vegetasi Rapat yang terkonsentrasi di kawasan perbukitan merupakan informasi krusial untuk perencanaan konservasi. Area ini dapat diprioritaskan sebagai kawasan lindung atau zona resapan air untuk menjamin keberlanjutan sumber daya air dan mencegah banjir di dataran yang lebih rendah. Di sisi lain, peta sebaran Vegetasi Jarang dapat menjadi input penting untuk analisis risiko bencana, seperti mengidentifikasi area yang lebih rentan terhadap kebakaran lahan pada musim kemarau atau zona rawan erosi pada lereng yang curam.

Ketiga, identifikasi Lahan Terbuka/Pasir seluas 3.572,13 Ha (9,97%) memiliki implikasi signifikan untuk kesiapsiagaan bencana. Mengingat sejarah kerawanan seismik dan tsunami di Kota Palu, peta sebaran lahan terbuka ini dapat dimanfaatkan secara proaktif untuk merancang jalur evakuasi yang aman dan menetapkan lokasi potensial untuk titik kumpul atau shelter pengungsian sementara.

Selain itu, dari perspektif pembangunan, area-area ini dapat dipetakan sebagai bank lahan (*land bank*) untuk pengembangan infrastruktur strategis di masa depan, sehingga pembangunan dapat diarahkan ke lokasi yang sesuai tanpa mengorbankan lahan hijau produktif. Dengan demikian, peta tutupan lahan ini berfungsi sebagai alat perencanaan dinamis yang mendukung pembangunan berkelanjutan dan peningkatan ketahanan kota terhadap bencana.

KESIMPULAN

Penelitian ini menggambarkan penerapan metode klasifikasi machine learning yang efisien dan akurat untuk pemetaan tutupan lahan Kota Palu tahun 2024. Dengan menggunakan data Sentinel-2 dan platform *Google Earth Engine*, sebuah peta tutupan lahan dengan lima kelas berhasil diproduksi dengan tingkat akurasi keseluruhan 95,27% dan Koefisien Kappa 0,819. Analisis matriks kesalahan menunjukkan performa model yang sangat kuat, terutama dalam mengidentifikasi kelas vegetasi, meskipun terdapat sedikit tumpang tindih antar kelas yang memiliki karakteristik spektral serupa. Metode yang disajikan dalam penelitian ini bersifat fundamental, cepat, dan dapat direplikasi dengan mudah, menjadikannya alat yang berharga untuk pemantauan lingkungan perkotaan secara berkala. Peta yang dihasilkan dapat menjadi data dasar yang solid untuk berbagai aplikasi perencanaan dan pengelolaan kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fathoni, H., Junaidi, A., & Aditiawan, F. P. (2025). Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Citra Sentinel-2 Di Kawasan IKN Menggunakan Google Earth Engine. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(3), 4982–4991.
- Al-Arafi, I. M., Nurdiansyah, A., & Ramadhanu, A. (2024). Optimalisasi Metode Median Filter untuk Mereduksi Noise pada Citra Kematangan Buah Jambu Madu. *Journal of Education Research*, 5(4), 5954–5958.
- Bill Donatien, L. M., Biona Clobite, B., & Lemvo Meris Midel, M. (2024). Comparing Sentinel-2 and Landsat 9 for land use and land cover mapping assessment in the north of Congo Republic: a case study in Sangha region. *International Journal of Remote Sensing*, 45(22), 8015–8036.
- De Raadt, A., Warrens, M. J., Bosker, R. J., & Kiers, H. A. L. (2019). Kappa Coefficients for Missing Data. *Educational and Psychological Measurement*, 79(3), 558–576.
- Justam, J., Jamilah, N., Umar, S. M., Erlita, E., & Ramba, J. (2024). Penerapan Algoritma C4.5 dan Random Forest untuk Pemetaan Kerusakan Jalan dengan WebGIS. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi Dan Teknik Informatika (JISTI)*, 7(2), 326–339.
- Latifa, A., & Marsisno, W. (2024). Perbandingan Algoritma dan Pemetaan Total Suspended Solid di Kawasan Pesisir Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh Berbasis Google Earth Engine. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2024(1), 471–480.
- Marlina, D. (2022). Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Citra Sentinel-2 Kabupaten Kuningan Dengan NDVI Dan Algoritme Random Forest. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 7(1), 41–49.
- Prasita, D. V. (2012). *Sistem Informasi Geografik Untuk Pengelolaan Sumber Daya Pesisir*. Brilliant an Imprint of MIC Publishing.
- Profilyanti, B. (2015). *Studi Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Data Scansar Alos Palsar dan Citra Landsat TM (Studi Kasus : Semarang, Jawa Tengah)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Saeed, M., Ahmad, A., & Mohd, O. (2023). Optimal Land-cover Classification Feature Selection in Arid Areas based on Sentinel-2 Imagery and Spectral Indices Geological Survey and Mineral Resources Authority. *IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(3), 2023.
- Sihombing, P. R., & Arsani, A. M. (2021). Comparison Of Machine Learning Methods In Classifying Poverty In Indonesia In 2018. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif)*, 2(1), 51–56.
- Tassi, A., Gigante, D., Modica, G., Di Martino, L., & Vizzari, M. (2021). Pixel-vs. Object-based landsat 8 data classification in google earth engine using random forest: The case study of maiella national

-
- park. *Remote Sensing*, 13(12).
- Tassi, A., & Vizzari, M. (2020). Object-oriented lulc classification in google earth engine combining snic, glcm, and machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 12(22), 1–17.
- Yudhono, B. E. (2017). *Klasifikasi Tutupan Lahan Dan Tata Guna Lahan Di Kabupaten Bandung Barat Menggunakan Citra Landsat-7 Etm Dan Alos Palsar*. Institut Teknologi Bandung.
- Yuyun, Ida Usman, & Sawaludin. (2018). Deteksi Perubahan Tutupan Lahan Menggunakan Metode Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA) Pada Citra Landsat (Studi Kasus: Kota Raha dan Sekitarnya). *Jurnal Geografi Aplikasi Dan Teknologi*, 2(1), 41–50.