

ANALISIS PREDIKSI PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN TAHUN 2033 MENGUNAKAN METODE *CELLULAR AUTOMATA* DAN *LOGISTIC REGRESSION*

M. Bima Laksmama¹⁾, Ahmad Zakaria^{2)*}, Tika Christy Novianti³⁾, Armijon⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)} Program Studi SI Teknik Geodesi, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung

Email: muhammbimaa@gmail.com¹⁾, ahmad.zakaria@eng.unila.ac.id^{2)*}, tika.novianti@eng.unila.ac.id³⁾,
armijon@eng.unila.ac.id⁴⁾

ABSTRAK

Perubahan tutupan lahan merupakan fenomena penting yang menggambarkan interaksi antara aktivitas manusia dan sumber daya lahan. Kecamatan Kemiling, mengalami peningkatan kebutuhan lahan akibat pertumbuhan penduduk yang signifikan dari tahun 2013 sampai 2023 yaitu sebesar 23.147 jiwa atau 36,64%, yang mendorong perlunya penelitian untuk memprediksi perubahan tutupan lahan hingga tahun 2033. Teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan analisis perubahan tutupan lahan dengan mempertimbangkan faktor-faktor pendorong seperti jalan, pemukiman, jenis tanah, kemiringan lereng, dan kepadatan penduduk. Metode Cellular Automata (CA) dan Logistic Regression (LR) dipilih karena keakuratannya dalam simulasi spasial-temporal. Penelitian ini menggunakan data citra Landsat 8 untuk tahun 2013, 2018, dan 2023. Data tersebut diolah menggunakan metode klasifikasi terbimbing dengan algoritma Support Vector Machine (SVM). Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan signifikan pada tutupan lahan, terutama peningkatan area permukiman sebesar 47,24% pada tahun 2023. Prediksi tahun 2033 mengindikasikan bahwa lahan terbangun akan terus bertambah, sementara lahan pertanian dan terbuka akan berkurang. Metode CA dan LR terbukti efektif dengan nilai kappa masuk dalam kategori baik. Penelitian ini memberikan pengetahuan bagi pengambilan keputusan tata ruang dan pembangunan berkelanjutan di Kecamatan Kemiling.

Kata Kunci : Prediksi Tutupan Lahan, *Cellular Automata*, *Logistic Regression*, *Landsat 8*

ABSTRACT

Land cover change is an important phenomenon that illustrates the interaction between human activities and land resources. Kemiling District, experienced an increase in land needs due to significant population growth from 2013 to 2023, which was 23,147 people or 36.64%, which prompted the need for research to predict land cover changes until 2033. Remote sensing technology and Geographic Information Systems (GIS) allow analysis of land cover changes by considering driving factors such as roads, settlements, soil types, slopes, and population density. The Cellular Automata (CA) and Logistic Regression (LR) methods were chosen because of their accuracy in spatial-temporal simulations. This study uses Landsat 8 imagery data for 2013, 2018, and 2023. The data is processed using a supervised classification method with the Support Vector Machine (SVM) algorithm. The results of the study showed significant changes in land cover, especially an increase in residential areas by 47.24% in 2023. Predictions for 2033 indicate that built-up land will continue to increase, while agricultural and open land will decrease. The CA and LR methods proved effective with kappa values in the good category. This study provides knowledge for decision-making on spatial planning and sustainable development in Kemiling District.

Keywords : *Land Cover Prediction, Cellular Automata, Logistic Regression, Landsat 8*

1. PENDAHULUAN

Perubahan tutupan lahan mencerminkan interaksi dinamis antara kegiatan manusia dengan distribusi sumber daya lahan secara spasial (Rakuasa dan Pakniany, 2022). Secara khusus, perubahan tutupan lahan yang paling cepat terjadi di wilayah sekitar perkotaan. Perubahan tutupan lahan dapat terjadi pada waktu yang berbeda dan pada skala bentuk dan ukuran yang berbeda (Rakhmonov dkk., 2021). Transformasi tutupan lahan bisa diartikan sebagai peralihan fungsi lahan dari suatu wilayah ke wilayah lain, baik secara langsung maupun tidak langsung, terkait

upaya manusia dalam memenuhi kebutuhannya.

Perubahan tutupan lahan mempunyai dampak yang signifikan terhadap perencanaan pembangunan daerah serta fungsi ekosistem pada semua skala spasial, mulai dari global hingga lokal. Oleh karena itu, penting untuk memahami hubungan antara fenomena sosial dan alam, khususnya di wilayah perkotaan, untuk meningkatkan keberlanjutan lanskap dinamis dan memprediksi dampak perencanaan sejarah (bpsk, 2021). Transisi demografi yaitu perpindahan penduduk dari pedesaan ke perkotaan menyebabkan perubahan lahan perkotaan yang signifikan dan beragam, baik dari segi penggunaan lahan maupun tutupan lahan (Rakuasa, 2022). Laju pertumbuhan penduduk Kecamatan Kemiling merupakan laju pertumbuhan penduduk tertinggi di Kota Bandar Lampung. Laju pertumbuhan penduduk Kecamatan Kemiling pada tahun 2023 tercatat sebesar 84.300 jiwa, yang merupakan angka yang cukup tinggi (BPS, 2023). Pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan meningkatnya kebutuhan terutama lahan untuk perumahan dan proyek pendukung lainnya, sehingga diperlukan konversi lahan untuk memenuhi kebutuhan tersebut (Agustamara, 2024).

Kombinasi teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan kemampuan untuk menganalisis perubahan tutupan lahan dengan memperhitungkan faktor-faktor yang memengaruhinya. Faktor pendorong atau pendukung perubahan tutupan lahan mencakup jalan, pemukiman, jenis tanah, lereng, dan kepadatan penduduk. Faktor tersebut juga digunakan untuk memprediksi tutupan lahan pada Kecamatan Kemiling tahun 2033.

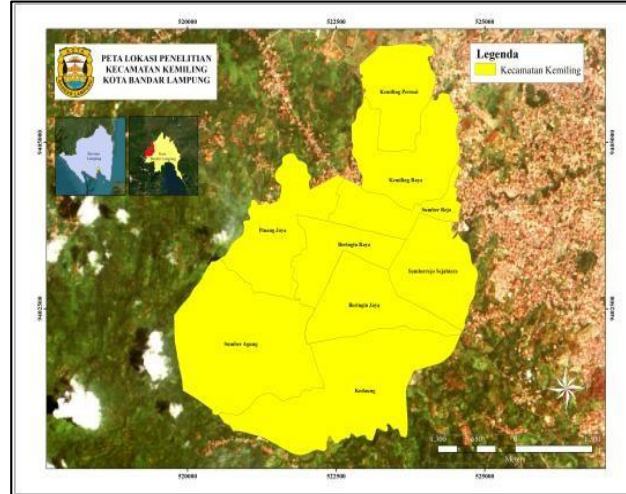
Metode *cellular automata* dikenal sebagai pendekatan yang handal dan presisi dalam mensimulasikan serta memprediksi perubahan spasial dan temporal pada lahan di masa depan (Putri & Supriatna, 2021). Model CA dipilih karena memiliki kemampuan prediksi spasial-temporal dan statistik yang sangat baik dan akurat serta bersifat dinamis, karena model CA dapat memodelkan dan menganalisis fenomena spasial dan temporal yang kompleks dan *logistic regression* merupakan metode analisis statistik yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel dependen berkategori dengan satu atau lebih variabel independen dalam skala interval atau kategoris (Hosmer & Lemeshow, 2000). Penelitian sebelumnya tentang analisis dan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan model *cellular automata-markov chain* di Das Wae Ruhu Kota Ambon oleh Rakuasa dkk., (2022), lalu tentang Model Cellular Automata Markov untuk prediksi perkembangan fisik wilayah permukiman Kota Surakarta menggunakan SIG oleh Fitriana dkk., (2017), yang membedakan dengan penelitian ini adalah lokasi tempat penelitian, metode yang digunakan *cellular automata* dan *logistic regression*, dan jumlah faktor pendorong yang digunakan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini mencakup tiga aspek utama, yaitu: bagaimana pola perubahan tutupan lahan di Kecamatan Kemiling pada tahun 2013, 2018, dan 2023; bagaimana hasil prediksi tutupan lahan untuk tahun 2033 menggunakan metode *cellular automata* dan *logistic regression*; serta bagaimana pengaruh penambahan faktor pendorong terhadap prediksi perubahan tutupan lahan tersebut. Penelitian ini bertujuan memberikan wawasan terkait dinamika perubahan tutupan lahan serta faktor-faktor pendorongnya di Kecamatan Kemiling pada tahun 2013, 2018, dan 2023, sekaligus memproyeksikan kondisi tutupan lahan pada tahun 2033, karena interval waktu yaitu 5 tahun untuk perubahan tutupan lahan cukup untuk melihat perubahan yang signifikan, terutama Kecamatan Kemiling mengalami pertumbuhan penduduk yang sangat cepat dan proyeksi tahun 2033 untuk memberikan gambaran tentang kondisi yang mungkin terjadi dalam jangka menengah, sehingga dapat digunakan untuk perencanaan jangka panjang. Fokus penelitian diarahkan pada skala yang lebih kecil dan spesifik untuk memungkinkan analisis yang mendalam mengenai perubahan tutupan lahan di kawasan tersebut

2. DATA DAN METODE

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kecamatan Kemiling, Kota Bandar Lampung, yang memiliki luas wilayah 18,80 km² serta jumlah penduduk terbanyak di kota tersebut, yaitu 86.300 jiwa dengan kepadatan 4.591 jiwa/km² (BPS, 2023).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data spasial dan non-spasial yang mendukung analisis prediksi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Kemiling. Contoh data spasial seperti Data Citra Landsat, data peta RBI, Data RTRW, data *shapefile* jalan, permukiman, kemiringan lereng, dan jenis tanah. Sedangkan untuk data non-spasial adalah data kepadatan penduduk. Sumber data utama berasal dari citra satelit Landsat 8 untuk tahun 2013, 2018, dan 2023. Selain itu, data pendukung lainnya meliputi: peta RBI Kota Bandar Lampung dengan skala 1:50.000 (sumber: Tanah Air Indonesia, 2023), data RTRW Kecamatan Kemiling periode 2021-2041 (sumber: BAPPERINDA), data *shapefile* berupa jaringan jalan, permukiman, kemiringan lereng, dan jenis tanah (berasal dari berbagai sumber seperti, DEMNAS dan *Digital Soil Map of the World*), dan data kepadatan penduduk per kelurahan (sumber: Badan Pusat Statistik, 2023).

2.3. Koreksi Radiometrik

Data citra satelit asli sering kali mengandung noise, salah satunya akibat perbedaan posisi matahari saat pengumpulan data. Untuk menghilangkan noise ini, dilakukan koreksi radiometrik menggunakan metode *Top of Atmospheric (ToA)*, yang mengubah nilai numerik menjadi reflektansi guna mengatasi distorsi radiometrik. Data Landsat-8 dikoreksi secara radiometrik menggunakan reflektansi ToA dan koreksi matahari. Dalam proses klasifikasi tutupan lahan, dilakukan cropping pada *Area of Interest (AoI)* yang mencakup objek seperti tanaman (hutan dan sawah), lahan terbuka (lahan terbuka dan perkotaan), serta perairan (laut, danau, dan sungai). Analisis ini menghasilkan kurva karakteristik spektral untuk memahami detail reflektansi setiap objek. Penelitian ini juga menerapkan metode *Dark Object Subtraction (DOS)* sebagai teknik koreksi radiometrik. Metode ini mengasumsikan adanya objek dengan nilai pantulan mendekati nol persen, seperti bayangan, air jernih dalam, atau hutan lebat. Sinyal dari hamburan atmosfer pada objek ini dihilangkan untuk memperoleh nilai *surface reflectance* yang lebih akurat. Rumus Algoritmanya adalah sebagai berikut:

$$(B1\ le\ 0)*0 + (B1\ ge\ 1)*1 + (B1\ gt\ 0\ and\ B1\ lt\ 1)*float(b1)/1..... (1)$$

2.4. Komposit Band dan Kliping

Proses komposit band dan kliping pada citra Landsat dilakukan untuk mengolah data mentah menjadi lebih spesifik dan relevan dengan area penelitian, yaitu Kecamatan Kemiling. Komposit band adalah langkah menggabungkan beberapa saluran spektral (*band*) pada citra Landsat, seperti band merah, hijau, dan biru (RGB), untuk membentuk tampilan visual atau analisis tertentu. Kombinasi band ini dapat disesuaikan dengan tujuan penelitian, misalnya untuk mengidentifikasi jenis tutupan lahan. Setelah itu, kliping dilakukan dengan memotong citra berdasarkan batas administrasi Kecamatan Kemiling menggunakan perangkat lunak GIS. Proses ini

memastikan bahwa data yang dianalisis hanya mencakup wilayah penelitian, sehingga hasilnya lebih fokus dan akurat.

2.5. Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing diterapkan untuk membuat peta tutupan lahan tahun 2013, 2018, dan 2023 menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM). Algoritma ini memanfaatkan data pelatihan yang diambil dari sampel lapangan atau data referensi untuk mengelompokkan setiap piksel dalam citra sesuai dengan kategori tutupan lahan yang telah ditetapkan, seperti permukiman, area pertanian, lahan terbuka, dan wilayah non-pertanian. Metode ini dipilih karena mampu memisahkan kelas dengan akurasi tinggi, bahkan pada dataset yang kompleks, dengan mempertimbangkan karakteristik spektral setiap piksel. Hasilnya berupa peta tematik yang merepresentasikan perubahan tutupan lahan secara spasial dan temporal di Kecamatan Kemiling.

2.6. Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Citra yang telah diklasifikasi dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan luas tutupan lahan. Perubahan ini dikategorikan ke dalam empat kelas utama: permukiman, daerah pertanian, lahan terbuka, dan daerah bukan pertanian.

2.7. Cellular Automata

Cellular Automata (CA) adalah model yang digunakan untuk memprediksi tutupan atau penggunaan lahan dengan prinsip sederhana yang mampu membentuk model kompleks. Diperkenalkan pada tahun 1940- an, CA memiliki banyak penerapan dalam geosains, termasuk studi perubahan tutupan lahan. Keunggulannya terletak pada algoritmanya yang sederhana, mudah dipahami, dan mudah diterapkan. Selain itu, model ini dapat divalidasi untuk menilai keakuratan prediksi, baik dalam hal distribusi maupun luasan spasial.. Menurut (White & Engelen, 1993), rumus *cellular automata* adalah sebagai berikut:

$$P_{ij} = S \left(1 + \sum_{h, k, d} m_{kd} I_{hd} \right), \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- P_{ij} = adalah potensi peralihan dari keadaan / ke keadaan j ;
- M_{kd} = adalah parameter pembobotan yang diterapkan pada sel dalam keadaan k di zona jarak d ;
- h = adalah indeks sel dalam zona jarak tertentu;
- I_{hd} = sama dengan 1 jika keadaan sel h = k;jika tidak, I_{hd} sama dengan 0; S = adalah istilah gangguan stokastik.

Istilah gangguan diberikan oleh:

$$S = 1 + (-\ln R)^a \dots\dots\dots(3)$$

dimana R (0 < R < 1) adalah variat acak seragam, dan a adalah parameter yang memungkinkan mengontrol ukuran gangguan stokastik.

2.8. Logistic Regression

Logistic Regression merupakan metode analisis statistik yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel dependen yang memiliki dua atau lebih kategori dengan variabel independen dalam skala interval atau kategoris. Teknik ini menggunakan pendekatan matematika untuk menemukan hubungan antara elemen data, yang kemudian digunakan untuk memprediksi nilai faktor tertentu berdasarkan faktor lainnya. Hasil prediksi *logistic regression* umumnya bersifat terbatas, seperti menghasilkan jawaban ya atau tidak. Metode ini juga diimplementasikan sebagai salah satu model pada *software* QGIS. Menurut (Tampil dkk., 2017) LR memiliki bentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

Y = variabel terikat (nilai yang diprediksi)

X = variabel bebas

β_0 = konstanta

β_1 = koefisien regresi (nilai peningkatan ataupun penurunan)

ϵ = galat acak

2.9. Pemodelan dan Prediksi

Pemodelan dilakukan menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) dan *Logistic Regression* (LR) dengan bantuan plugin MOLUSCE pada QGIS 2.18.15. Tahapan dalam pemodelan ini meliputi:

1. Evaluasi Korelasi: Menghitung hubungan antar faktor pendorong seperti jarak ke jalan, pemukiman, jenis tanah, kemiringan lereng, dan kepadatan penduduk.
2. Transition Potential Modeling: Membentuk model prediksi berdasarkan data tahun awal (2013 dan 2018) dan faktor pendorong.
3. Simulasi *Cellular Automata*: Prediksi dilakukan hingga tahun 2033 melalui tiga iterasi, masing-masing dengan rentang waktu lima tahun.

2.10. Uji Validitas

Validasi model sangat penting untuk mengevaluasi keakuratan prediksi yang dihasilkan. Berdasarkan Altman (1991) dan Firdani dkk (2020), nilai akurasi kappa berkisar antara 0 hingga 1, yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kappa

| Nilai Kappa | Keeratan Kesepakatan |
|-------------|-----------------------------------|
| < 0,20 | Rendah (<i>Poor</i>) |
| 0,21 – 0,40 | Lumayan (<i>Fair</i>) |
| 0,41 – 0,60 | Cukup (<i>Moderate</i>) |
| 0,61 – 0,80 | Bagus (<i>Good</i>) |
| 0,81 – 1,00 | Sangat Bagus (<i>Very Good</i>) |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tutupan Lahan Tahun 2013, 2018, dan 2023

Penelitian ini menggunakan pendekatan klasifikasi terbimbing (supervised) dengan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) untuk menganalisis perubahan tutupan lahan pada tahun 2013, 2018, dan 2023. Di Kecamatan Kemiling, perubahan tutupan lahan dalam periode 2013 hingga 2023 dikelompokkan ke dalam empat kategori utama: permukiman, lahan terbuka, area pertanian, dan wilayah non-pertanian. Area permukiman mengalami peningkatan signifikan sebesar 47,24%, yang mencerminkan pertumbuhan populasi dan aktivitas pembangunan. Sebaliknya, lahan terbuka menurun sebesar 3,67%, dengan sebagian besar diubah menjadi permukiman dan sebagian kecil menjadi area pertanian. Adapun wilayah non-pertanian menunjukkan fluktuasi kecil tanpa perubahan yang berarti. Rincian hasil analisis ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Penggunaan Luas Tutupan Lahan

| Tutupan Lahan | 2013 (Ha) | % | 2018 (Ha) | % | 2023 (Ha) | % |
|-------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| Permukiman | | 17,55 | | 29,29 | | 47,24 |
| Lahan Terbuka | 174,84 | 9,32 | 83,75 | 4,46 | 68,83 | 3,67 |
| Daerah Pertanian | 843,60 | 44,95 | 705,76 | 37,61 | 467,90 | 24,94 |
| Daerah Bukan Pertanian | 528,87 | 28,18 | 537,33 | 28,64 | 453,17 | 24,15 |
| Total | 1876,72 | 100 | 1876,32 | 100 | 1876,30 | 100 |

Analisis Perubahan Tutupan Lahan 2013 – 2018

Hasil analisis perubahan tutupan lahan pada tahun 2013 sampai dengan 2018, terjadi perubahan signifikan dalam penggunaan lahan. Luas daerah pertanian turun 137,84 Ha (37,61%), terutama akibat alih fungsi lahan menjadi permukiman di Kelurahan Pinang Jaya dan Sumber Agung. Beberapa area pertanian juga beralih menjadi lahan terbuka atau bukan pertanian karena tidak dikelola lagi. Penurunan ini dipengaruhi oleh berkurangnya minat terhadap pertanian yang dapat diverifikasi melalui pengamatan citra satelit, yang menunjukkan perubahan fungsi lahan menjadi permukiman atau lahan terbuka. Lahan terbuka berkurang 91,09 Ha (4,46%) akibat konversi menjadi permukiman, pertanian, atau daerah bukan pertanian. Sementara itu, permukiman meningkat 220,056 Ha (29,29%), mencerminkan pertumbuhan penduduk. Daerah bukan pertanian hanya meningkat sedikit, sebesar 8,46 Ha (28,64%). Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perubahan Luas Tutupan Lahan 2013-2018

| Kelas | Luas (Ha) | | | | Perubahan |
|-------------------------------|-----------|-------|---------|-------|-----------|
| | 2013 | % | 2018 | % | |
| Daerah Bukan Pertanian | 528,86 | 28,18 | 537,32 | 28,64 | 8,46 |
| Daerah Pertanian | 843,59 | 44,95 | 705,76 | 37,61 | -137,84 |
| Lahan Terbuka | 174,84 | 9,32 | 83,75 | 4,46 | -91,09 |
| Permukiman | 329,43 | 17,55 | 549,49 | 29,29 | 220,056 |
| Total | 1876,32 | 100 | 1876,32 | 100 | |

Analisis Perubahan Tutupan Lahan 2018 – 2023

Pada periode 2018-2023, terjadi perubahan signifikan dalam penggunaan lahan. Luas daerah bukan pertanian berkurang 84,16 Ha (24,15%) akibat perubahan kebijakan tata ruang, penurunan industri, dan konversi lahan. Luas daerah pertanian turun drastis 237,86 Ha (24,94%) disebabkan oleh alih fungsi lahan, penurunan minat terhadap pertanian, dan perubahan iklim. Lahan terbuka juga berkurang 14,92 Ha (3,67%) karena konversi menjadi permukiman, pertanian, atau daerah bukan pertanian. Sebaliknya, permukiman meningkat signifikan 336,75 Ha (47,24%) akibat pertumbuhan penduduk. Secara keseluruhan, pergeseran penggunaan lahan mencerminkan perluasan permukiman dan penurunan lahan pertanian serta terbuka. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan Luas Tutupan Lahan 2018-2023

| Kelas | Luas (Ha) | | | | Perubahan |
|-------------------------------|-----------|-------|---------|-------|-----------|
| | 2018 | % | 2023 | % | |
| Daerah Bukan Pertanian | | | | | |
| Daerah Pertanian | 705,76 | 37,61 | 467,90 | 24,94 | -237,86 |
| Lahan Terbuka | 83,75 | 4,46 | 68,83 | 3,67 | -14,92 |
| Permukiman | 549,49 | 29,29 | 886,23 | 47,24 | 336,75 |
| Total | 1876,32 | 100 | 1876,32 | 100 | |

Analisis Perubahan Tutupan Lahan 2013 – 2023

Selama periode 2013-2023, luas daerah bukan pertanian berkurang 75,70 Ha (24,15%) akibat perubahan kebijakan tata ruang, ekspansi industri, dan konversi lahan. Luas daerah pertanian turun 375,70 Ha (24,94%) karena alih fungsi lahan, penurunan minat terhadap pertanian, dan dampak perubahan iklim. Lahan terbuka berkurang 106,01 Ha (3,67%) akibat konversi menjadi permukiman, pertanian, dan pembangunan infrastruktur. Sebaliknya, permukiman meningkat signifikan 556,80 Ha (47,24%), mencerminkan pertumbuhan penduduk yang pesat dan perluasan wilayah permukiman. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan Luas Tutupan Lahan Tahun 2013 - 2023

| Kelas | Luas (Ha) | | | | Perubahan |
|-------------------------------|-------------|-------|---------|-------|-----------|
| | 2013 | % | 2023 | % | |
| Daerah Bukan Pertanian | | | | | |
| Daerah Pertanian | 843,59 | 44,95 | 467,90 | 24,94 | -375,70 |
| Lahan Terbuka | 174,84 | 9,32 | 68,83 | 3,67 | -106,01 |
| Permukiman | 329,43 | 17,55 | 886,23 | 47,24 | 556,80 |
| Total | 1876,32 | 100 | 1876,32 | 100 | |

Uji Akurasi Tutupan Lahan

Pengujian akurasi dilakukan melalui dua pendekatan: **Akurasi Internal**, dengan memanfaatkan koefisien kappa dan matriks kesalahan (*error matrix*) yang berdasarkan peraturan BIG No. 3 Tahun 2014, serta **Validasi Lapangan**, yang melibatkan pemeriksaan langsung di lokasi (*ground truth*). Koefisien kappa digunakan untuk menilai konsistensi klasifikasi dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti akurasi pembuat (*producer's accuracy*), akurasi pengguna (*user's accuracy*), dan akurasi keseluruhan (*overall accuracy*). Sementara itu, matriks kesalahan (*error matrix*) memberikan informasi tentang seberapa baik model klasifikasi memprediksi kelas tutupan lahan dibandingkan dengan data referensi yang telah terverifikasi kebenarannya. Uji akurasi dilakukan menggunakan koefisien kappa dan validasi lapangan dengan sampel acak. Hasil menunjukkan: Akurasi keseluruhan untuk tahun-tahun yang diuji (2013, 2018, dan 2023) adalah sekitar 92%, dengan nilai kappa sekitar 89%, menandakan model klasifikasi yang baik.

Pemodelan Perubahan Tutupan Lahan

Analisis dan simulasi perubahan tutupan lahan di Kecamatan Kemiling menggunakan teknik statistik dan geospasial.

1. **Input Model Data:** Proses pemodelan dimulai dengan memasukkan data awal dan akhir tutupan lahan. Data awal adalah peta tutupan lahan tahun 2013, sedangkan data akhir adalah peta tutupan lahan tahun 2018. Tujuan utama adalah untuk membuat prediksi perubahan tutupan lahan di masa depan dengan menambahkan variabel-variabel pendorong yang relevan.
2. **Variabel-Variabel Pendorong:** Beberapa variabel pendorong yang digunakan dalam model ini adalah:
 - **Jarak Ke Jalan:** Dihitung menggunakan metode *Euclidean Distance* yaitu perhitungan untuk mengukur jarak dua titik dalam *euclidean space* yang mempelajari hubungan antara sudut dan jarak (Derisma dkk., 2016) untuk memahami aksesibilitas spasil terhadap jaringan jalan.
 - **Jarak Ke Permukiman:** Seperti halnya jarak ke jalan, dihitung menggunakan *Euclidean Distance* untuk memahami aksesibilitas spasil terhadap permukiman.
 - **Kemiringan Lereng:** Parameter ini penting untuk memahami topografi wilayah dan potensinya dalam penggunaan lahan.
 - **Jenis Tanah:** Jenis tanah yang ada di wilayah tersebut akan mempengaruhi penggunaan lahan.
 - **Kepadatan Penduduk:** Distribusi spasial populasi diwilayah tersebut akan mempengaruhi perubahan tutupan lahan.
3. **Evaluasi Faktor Pendorong:** Faktor-faktor pendorong diolah menggunakan tool *Euclidean Distance* untuk mendapatkan jarak spasial antara titik-data molekul dan faktor-pendorong yang relevan. Hasilnya digambarkan dalam bentuk peta yang menunjukkan jarak setiap sel raster terhadap jaringan jalan atau permukiman. Contohnya, peta jarak ke permukiman dan peta jarak ke jalan menggunakan warna-warna yang berbeda untuk merepresentasikan kategori jarak dalam satuan meter. Zona-zona kuning pada peta tersebut merupakan zona yang paling mudah diakses ke jalan atau permukiman, sedangkan zona-zona merah hingga ungu menggambarkan area yang lebih jauh dan mungkin sulit untuk diakses.

Pemodelan Perubahan Tutupan Lahan

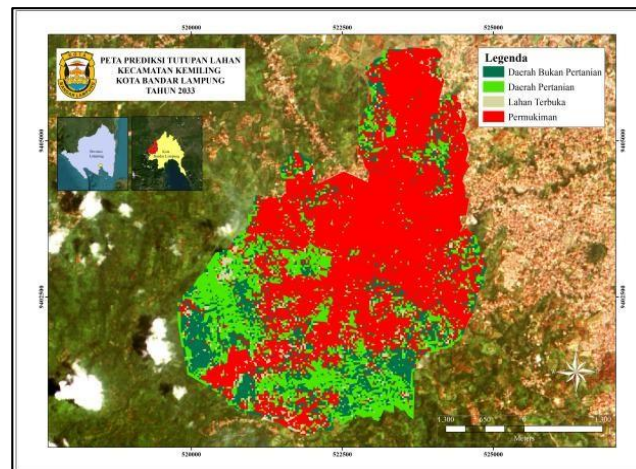
Hasil prediksi tutupan lahan tahun 2033 menggunakan data tahun 2013 dan 2018 dengan 3 iterasi (setiap

iterasi mewakili jarak 5 tahun). Prediksi menunjukkan bahwa pada tahun 2033, area permukiman diperkirakan memiliki luas 1101,28 Ha (merah), lahan terbuka 71,13 Ha (coklat muda), daerah pertanian 400,66 Ha (hijau muda), dan daerah bukan pertanian 302,03 Ha (hijau tua). Peta prediksi 2023 menunjukkan bahwa luas area pertanian dan bukan pertanian berkurang, dikonversi menjadi lahan permukiman akibat meningkatnya kebutuhan lahan. Luas tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Luas Tutupan Lahan 2023 dan Prediksi Tahun 2033

| Kelas | Tutupan Lahan Prediksi 2023 | Tutupan Lahan Prediksi 2033 | Selisih |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|
| Daerah Pertanian | 467,90 | 400,66 | -67,27 |
| Daerah Bukan | 453,17 | 302,04 | -151,14 |
| Lahan Terbuka | 68,83 | 71,13 | 2,31 |
| Permukiman | 886,24 | 1101,49 | 215,22 |

Pada perbandingan luas tutupan lahan tahun 2023 dengan prediksi tahun 2033, diperkirakan terjadi penurunan luas lahan pertanian sebesar 67,27 hektar, tersebar di Kelurahan Pinang Jaya (27,16 Ha), Beringin Jaya (23,39 Ha), Kemiling Permai (13,45 Ha), dan Sumber Rejo (2,27 Ha), yang berubah menjadi lahan permukiman. Penurunan ini mencerminkan tren penurunan minat dalam sektor pertanian, kemungkinan akibat pertumbuhan penduduk, sektor lain yang lebih menguntungkan, atau perubahan iklim. Lahan bukan pertanian diprediksi berkurang sekitar 151,14 hektar, dengan penurunan terbesar di Kelurahan Sumber Agung (62,05 Ha), Kedaung (82,74 Ha), dan Sumberrejo Sejahtera (9,35 Ha). Penurunan ini dapat disebabkan oleh perubahan kebijakan atau konversi lahan. Lahan terbuka diprediksi mengalami sedikit peningkatan sekitar 2,31 hektar di Kelurahan Sumber Agung, kemungkinan karena upaya pelestarian atau pengembangan lahan baru. Sementara itu, area permukiman diprediksi meningkat signifikan sebesar 215,22 hektar, menunjukkan pertumbuhan penduduk yang pesat dan urbanisasi yang terus berlangsung. Hasil peta prediksi tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2033

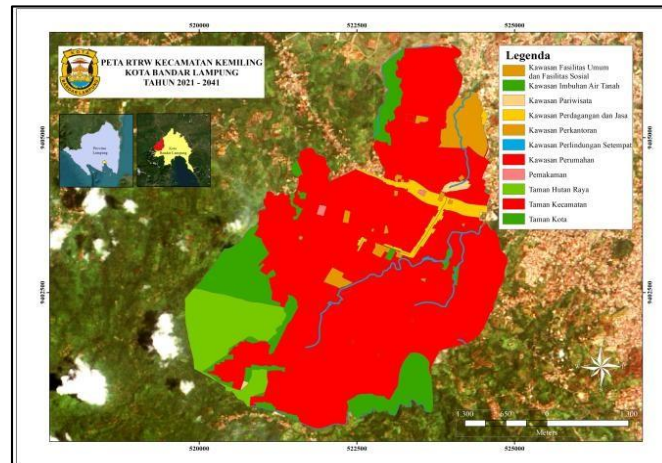
Analisis Hasil Prediksi Tutupan Lahan Tahun 2033 Terhadap Peta Rencana Tata Ruang Kota Kecamatan Kemiling Tahun 2021-2041

Data yang diperlukan untuk mengetahui persentase perbedaan hasil prediksi tutupan lahan tahun 2033 adalah rencana tata ruang kota Kecamatan Kemiling tahun 2021-2041. Analisis dilakukan untuk membandingkan luas tutupan lahan dengan kelas pada RTRW, yang hanya memiliki dua kesamaan kelas: pertama, kelas permukiman yang sesuai dengan kawasan fasilitas umum, sosial, pariwisata, perdagangan dan jasa, perkantoran, perumahan, dan pemakaman pada RTRW; kedua, kelas daerah bukan pertanian yang sesuai dengan kawasan

imbunan air tanah, hutan raya, taman kecamatan, dan taman kota. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan luas kelas permukiman dan daerah bukan pertanian. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perbandingan Luas Prediksi dengan RTRW

| Kelas | Hasil Luas Prediksi 2033 (Ha) | Hasil Luas RTRW (Ha) | Selisih (Ha) | Persentase Selisih |
|------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| Permukiman | 1101,4886 | 1481,8397 | 380,3511 | 29,45% |
| Daerah Bukan Pertanian | | | | |



Gambar 3. Peta RTRW Kecamatan Kemiling Tahun 2021-2041

Berdasarkan hasil prediksi, luas permukiman diperkirakan mencapai 1101,48 Ha, sementara pada RTRW tercatat 1481,83 Ha, dengan persentase selisih 29,45%. Luas daerah bukan pertanian diprediksi 302,03 Ha, sedangkan pada RTRW 372,34 Ha, dengan persentase selisih 20,85%. Meskipun terdapat perbedaan, hasil prediksi menggunakan metode CA-LR menunjukkan kemampuan untuk memproyeksikan perubahan tutupan lahan di masa depan. Namun, prediksi ini bukan hasil akhir karena model ini hanya mengikuti tren 10 tahun sebelumnya, tanpa mempertimbangkan kebijakan atau intervensi, sehingga Kecamatan Kemiling masih berpotensi mengalami perubahan. Hasil peta RTRW dapat dilihat pada Gambar 3.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di Kecamatan Kemiling selama periode 2013-2023 ditandai dengan penurunan luas terbesar pada area pertanian sebesar 342,86 Ha dan peningkatan terbesar pada area permukiman sebesar 389,79 Ha. Selain itu, wilayah non-pertanian mengalami peningkatan seluas 17,45 Ha, sementara lahan terbuka menyusut sebesar 64,84 Ha. Prediksi tutupan lahan tahun 2023 yang dilakukan menggunakan metode Cellular Automata dan Logistic Regression menghasilkan indeks kappa sebesar 0,74 (74%), yang masuk dalam kategori baik (Fardani dkk, 2020; Altman, 1991) dan dapat digunakan untuk memproyeksikan tutupan lahan tahun 2033. Perbandingan antara peta prediksi tutupan lahan tahun 2033 dan peta RTRW Kecamatan Kemiling 2021-2041 menunjukkan selisih sebesar 380,35 Ha (29,45%) pada kategori permukiman dan 70,31 Ha (20,85%) pada kategori non-pertanian.

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah pentingnya ketelitian dalam proses digitasi kelas tutupan lahan agar hasil klasifikasi lebih akurat. Selain itu, penelitian sebaiknya dilakukan dengan rentang waktu yang lebih panjang untuk memperoleh data perubahan lahan yang lebih signifikan. Penggunaan citra satelit dengan ketelitian spasial yang lebih tinggi juga sangat disarankan, karena dapat memudahkan pengklasifikasian kelas tutupan lahan dengan lebih tepat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agustamara, L. H. (2024). Pengaruh Pertumbuhan Penduduk Terhadap Perubahan Penggunaan Lahan Terbangun Di Kota Administrasi Jakarta Timur Tahun 2010-2020. 623(1).
- Altman, D. G., (1991). *Comparing Groups—Categorical Data. Practical statistics for medical research*, 1,261-5.
- Badan Pusat Statistik BPS Kecamatan Kemiling., (2023). Jumlah Penduduk Menurut Kecamatan dan Jenis Kelamin Tahun 2023. Bps.Go.Id. diakses pada tanggal 4 Juni 2024.
- Derisma, Firdaus, & Y, R. P. (2016). Perancangan Ikat Pinggang Elektronik Untuk Tunanetra Menggunakan Mikrokontroler Dan Global Positioning System (Gps) Pada Smartphone Android. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 5(2).
- Fardani, I., Mohmed, F. A. J., dan Chofyan, I., (2020). Pemanfaatan Prediksi Tutupan Lahan Berbasis Cellular Automata-Markov dalam Evaluasi Rencana Tata Ruang. *Media Komunikasi Geografi*, 21(2). 157 – 169. DOI: <http://dx.doi.org/10.23887/mkg.v21i2.28121>
- Hosmer, David W., and Stanley Lemeshow., (2000). *Applied Logistic Regression Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mallick, S. K., (2021). Prediction-Adaptation-Resilience (PAR) approach- A new pathway towards future resilience and sustainable development of urban landscape. *Geography and Sustainability*, 2(2), 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.06.002>
- Putri, R. A., dan Supriatna, S., (2021). *Land cover change modeling to identify critical land in the Ciletuh Geopark tourism area*, Palabuhanratu, Sukabumi Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 623, 012081. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/623/1/012081>
- Rakhmonov, S., Umurzakov, U., Rakhmonov, K., Bozarov, I., dan Karamatov, O., (2021). Land Use and Land Cover Change in Khorezm, Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 227, 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122701002>
- Rakuasa, H., dan Pakniyan, Y., (2022). Spatial Dynamics of Land Cover Change in Ternate engah District, Ternate City, Indonesia. *Forum Geografi*, 36(2), 126–135. <https://doi.org/DOI:10.23917/forgeo.v36i2.19978>
- Tampil, Y. A., Komalig, H., dan Langi, Y., (2017). Analisis Regresi Logistik Untuk Menentukan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Prestasi Kumulatif (IPK). Mahasiswa FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado.
- White, R., dan Engelen, G., (1993). *Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modelling Approach to the Evolution of Urban Land- Use Patterns*.