

IMPLEMENTASI METODE *CELLULAR AUTOMATA LOGISTIC REGRESSION* UNTUK ANALISIS PENERAPAN DAN SIMULASI PREDIKSI PENGGUNAN LAHAN DI KOTA BOGOR

Muhammad Nurfajar Noviana Gumelar, Erwin Hermawan, Nurul Kamilah

Teknik Informatika, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. Sholeh Iskandar Kedungbadak, Kota Bogor, Indonesia

fajarg455@gmail.com

ABSTRAK

Lahan di Indonesia digunakan dengan sangat cepat, terutama di kawasan perkotaan seperti Kota Bogor. Dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi mengakibatkan lahan yang digunakan untuk tempat tinggal dan aktivitas masyarakat lainnya akan berubah. Fenomena ini menyebabkan peningkatan dan penurunan pada setiap kelas lahan. Permintaan lahan terbangun, pertumbuhan penduduk, dan permintaan fasilitas umum dapat memengaruhi perubahan penggunaan lahan. Penggunaan lahan dapat berdampak buruk pada lingkungan jika tidak dipantau. Dengan demikian, penggunaan lahan harus dipantau melalui penginderaan jauh dengan *Google Earth Engine*. Metode *Random Forest* digunakan untuk mengkategorikan penggunaan lahan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, untuk memprediksi penggunaan lahan pada tahun 2033 menggunakan metode *Cellular Automata Logistic Regression* pada *plug in MOLUSCE*. *Cellular Automata* sendiri adalah model berisi sejumlah sel (*cell*) yang memiliki nilai tertentu. dijalankan pada format data raster yang menampilkan sel dalam bentuk piksel. Salah satu model yang terintegrasi yaitu *Logistic Regression (LR)*. Model ini mengandung sejumlah sel yang memiliki nilai tertentu, yang memungkinkan setiap sel untuk berubah sesuai dengan prinsip transisi tertentu (*rule of Transition*). Studi ini menemukan bahwa penggunaan lahan di Kota Bogor cukup cepat, dengan peningkatan jumlah lahan yang dibangun setiap tahun dari tahun 2003 hingga 2023. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan masyarakat akan fasilitas umum dan tempat tinggal di daerah perkotaan. Pemodelan perubahan penggunaan lahan Tahun 2023 menggunakan *Plug in MOLUSCE* menunjukkan akurasi yang sangat baik dengan nilai koefisien kappa sebesar 82% dan akurasi umum 89%.

Kata kunci : *Prediksi penggunaan lahan, Google Earth Engine, Random Forest, Cellular Automata Logistic Regression*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan perubahan lahan yang sangat pesat. Penggunaan lahan di Indonesia semakin meningkat karena kehidupan masyarakat sangat bergantung pada lahan, baik untuk mata pencaharian, tempat tinggal, dan kegiatan lainnya [1]. Terutama di daerah perkotaan, di mana penggunaan lahan terdiri dari bangunan yang memiliki intensitas tinggi dan berdekatan satu sama lain [2].

Perkembangan penduduk mengharuskan mereka mengubah lahan untuk aktivitas, yang menyebabkan perubahan lahan perkotaan. Pergeseran ini sesuai dengan perkembangan kota [3]. Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan penggunaan lahan termasuk pertumbuhan penduduk, permintaan perumahan, infrastruktur, dan fasilitas umum. Faktor-faktor ini akan meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk Kota Bogor [4].

Karena kepadatan populasi dan bangunan yang terus meningkat, air tidak dapat meresap ke dalam bumi, sehingga menyebabkan masalah lingkungan seperti banjir. Inilah sebabnya mengapa pemantauan penggunaan lahan sangat penting., banyaknya pohon yang di tebang juga mengurangi lahan terbuka hijau yang menyebabkan kota akan semakin panas nantinya [5]. Berdasarkan uraian tersebut perlu dilakukan pemantauan terhadap penggunaan lahan menggunakan

penginderaan jauh dengan mengidentifikasi melalui Citra *Landsat* Menggunakan *Google Earth Engine (GEE)* dengan metode *Random Forest* dan pengambilan sampel menggunakan metode *Supervised classification* [6].

Lalu membuat peta prediksi penggunaan lahan menggunakan *plugin MOLUSCE* dengan metode *Cellular Automata Logistic Regression* [7].

Agar membantu dalam mengatur penggunaan lahan secara lebih berkelanjutan dan efisien. dan rencana pengembangan wilayah dapat dibuat dengan lebih baik oleh instansi terkait.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab kajian teoritis tentang teori-teori yang mendukung tema penelitian. Berikut adalah penjelasan tentang teori-teori yang mendukung penelitian.

2.1. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Klasifikasi penggunaan lahan merupakan pengambilan sample atau memilih kategori serta mengelompokkan nilai *pixel* ke dalam kelas tertentu. Oleh karena itu, menentukan rencana klasifikasi sangat penting agar hasil klasifikasi sesuai dengan peta yang diharapkan. Selain itu, penentuan skala bergantung pada identifikasi objek pada gambar, yang

dapat dilakukan secara visual dengan menggunakan elemen interpretasi. [8].

2.2. Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) adalah platform berbasis cloud yang memungkinkan pengguna untuk membuat dan menjalankan algoritma khusus dan komputasi yang cepat, serta membantu mengakses dan memproses kumpulan data geospasial yang sangat besar untuk analisis dan pengambilan keputusan [9].

2.3. Supervised Classification

Supervised classification adalah metode pembuatan *Training Area* seperti badan air, pemukiman, bangunan, vegetasi, lahan kosong dan lainnya. Keunggulan *supervised classification* adalah memiliki kontrol terhadap sampel dan adanya kontrol terhadap keakuratan klasifikasi [10].

2.4. Random Forest

Random Forest adalah algoritma klasifikasi kelompok yang menggunakan klasifikasi dengan metode non- parametik *Random Forest Classifier*. *Random Forest* merupakan suatu kumpulan dari beberapa *tree*, dimana masing-masing *tree* bergantung pada nilai *pixel* pada tiap *vector* yang di ambil secara acak dan *independent*. sehingga memungkinkan untuk memporses *tree* sebanyak yang di inginkan oleh pengguna untuk menghasilkan kumpulan klasifikasi dengan beberapa pohon keputusan. [11].

2.5. Molusce

Molusce adalah salah satu *plugin* yang dikembangkan oleh *Next GIS* dan *Asia Air Survey*. *Molusce* juga merupakan salah satu *plugin* yang ada di *QGIS* Plugin ini digunakan untuk menganalisis, memodelkan, dan mensimulasikan penggunaan lahan. Adapun beberapa metode yang dapat digunakan dalam *Plug in Molusce* seperti *Artificial Neural Networks (ANN)*, *Multi Criteria Evaluation (MCE)*, *Weights of Evidence (WoE)*, *Logistic Regression (LR)*, dan *Monte Carlo Cellular Automata (MCA)* [12].

2.6. Cellular Automata

Cellular Automata adalah metode yang didasarkan pada prinsip ketetanggaan sel (*neighbourhood*), *Cellular Automata* juga adalah model matematika yang digunakan untuk menggambarkan perubahan seiring waktu dalam suatu sistem diskrit. Model ini terdiri dari sejumlah sel yang terletak dalam jaringan atau *grid*. Setiap sel memiliki sejumlah keadaan yang mungkin, dan perubahan dalam keadaan sel-sel ini terjadi berdasarkan aturan tertentu yang ditentukan sebelumnya [13].

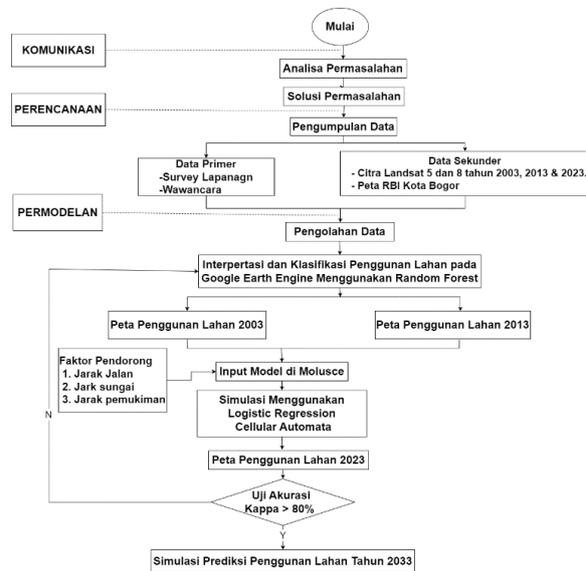
2.7. Logistic Regression

Logistic Regression merupakan teknik statistik yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih variabel input dan variabel output yang memiliki dua nilai kategorikal yang mungkin,

biasanya 0 dan 1. Teknik ini digunakan untuk memodelkan kemungkinan perubahan penggunaan lahan suatu wilayah dalam persamaan matematika [14].

3. METODE PENELITIAN

Adapun tahapan tahapan dalam penelitian ini dapat dilihat dari kerangka berfikir pada gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Berfikir

3.1. Komunikasi

Analisis masalah dilakukan pada tahap komunikasi ini untuk mendapatkan informasi dan memahami situasi atau masalah. Tujuannya adalah untuk menemukan masalah dasar, komponen penyebabnya, efeknya, dan hubungan antara variabel yang berbeda. Fokus penelitian ini adalah penggunaan lahan di Kota Bogor. Pemanfaatan lahan yang tidak diawasi dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti banjir maupun pemanasan global. Solusi masalah juga tersedia untuk mengidentifikasi dan menerapkan tindakan yang efektif untuk mengatasi masalah. Mencari solusi yang tepat dan berguna untuk memecahkan masalah, mengurangi efek samping, dan mencapai.

3.2. Perencanaan

Pada tahap perencanaan ini, data dikumpulkan untuk memperoleh informasi untuk penelitian, analisis, atau pengambilan keputusan. Data primer dan sekunder Penelitian ini diambil dari survei lapangan dan wawancara dengan penduduk setempat Kota Bogor. Data sekunder diambil dari citra Landsat 5 TM Kota Bogor Tahun 2003 dan OLI TIRS 8 Tahun 2013, yang diolah dengan Google Earth Engine, dan diunduh Peta RBI Kota Bogor.

3.3. Permodelan

Melakukan pengolahan data klasifikasi penggunaan lahan menggunakan metode *Random Forest* pada tahun 2003 dan 2004. Lalu peta penggunaan lahan tersebut di inputkan pada plug in Molusce dengan disertai jarak jalan, sungai, pemukiman sebagai faktor pendorongnya. Lalu di simulasikan menggunakan metode *Cellular Automata Logistic Regression* dan menghasilkan peta penggunaan lahan tahun 2023. Peta tersebut dihitung akurasi untuk di gunakan sebagai pemodelan peta prediksi tahun 2033. Jika akurasi kappa di atas 80% maka bisa dilakukan pemodelan untung prediksi penggunaan lahan tahun 2033.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Permasalahan

Jika pemanfaatan lahan yang tidak dipantau akan menimbulkan permasalahan lingkungan. Seperti banjir yang terjadi karena tidak mampunya air meresap ke dalam tanah akibat jumlah pemukiman dan bangunan-bangunan yang semakin padat, dapat terjadi juga peningkatan suhu pada musim panas ataupun polusi akibat kurangnya ruang terbuka hijau di Kota Bogor.

4.2. Solusi Permasalahan

Membuat analisis menggunakan *Google Earth Engine* untuk melihat penggunaan lahan di Kota Bogor Tahun 2003 dan Tahun 2013. Serta melakukan prediksi penggunaan lahan Tahun 2023 menggunakan metode *Cellular Automata Logistic Regression* lalu hasil prediksi penggunaan lahan tersebut di validasi ke lapangan dan melakukan prediksi penggunaan lahan pada Tahun 2033.

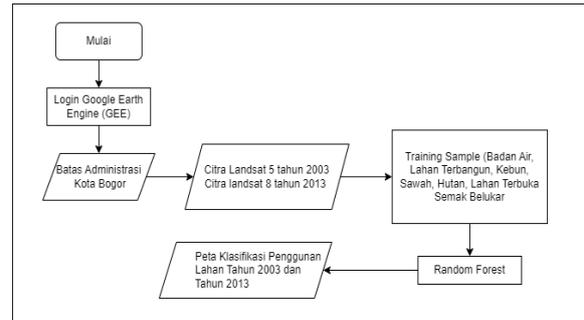
4.3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pencarian data. Data yang diperlukan yaitu: Data primer meliputi: Survey lapangan dan wawancara warga sekitar Kota Bogor. Data sekunder meliputi: Citra *Landsat 5 TM* Kota Bogor Tahun 2003, Citra *Landsat OLI TIRS 8* Tahun 2013 dan Peta RBI Kota Bogor.

4.4. Permodelan

4.4.1. Pengolahan dan Analisis Data

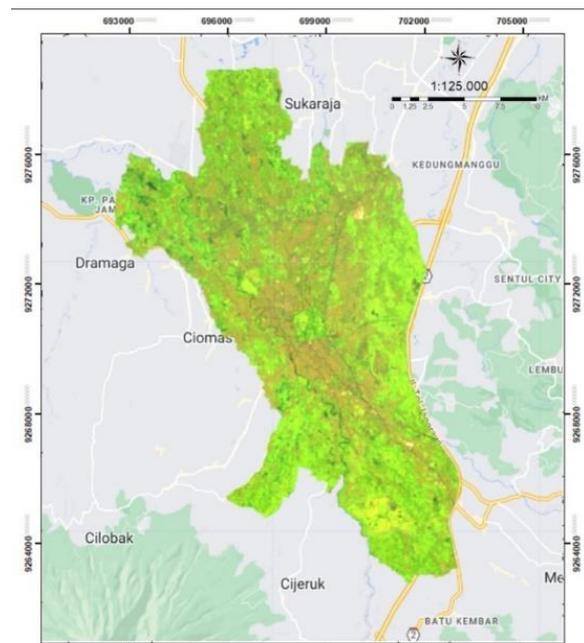
Pengolahan dan analisis data yang di gunakan merupakan data *spasial* di antaranya data Citra Kota Bogor Tahun 2003 menggunakan *Landsat 5* dan *Landsat 8* untuk citra Tahun 2013. Seperti ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Pengolahan Data Spasial

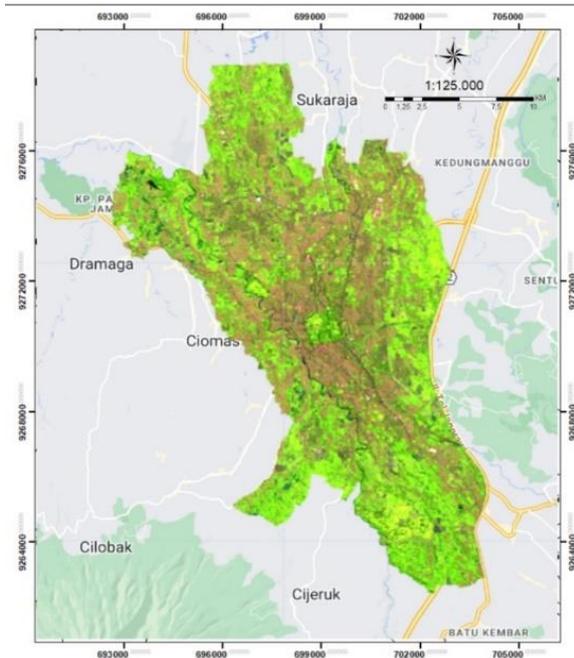
4.4.2. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Pada tahap klasifikasi penggunaan lahan, peneliti menggunakan data skunder yaitu wilayah Administrasi Kota Bogor untuk mendapatkan wilayah geografisnya. Selanjutnya *export* data ke dalam *Google Earth Engine* untuk proses identifikasi penggunaan lahan di Kota Bogor. Citra *Landsat* yang digunakan dalam melakukan identifikasi menggunakan citra *Landsat 5* Tahun 2003 dengan *Band 5 – 4 – 1*. *Visualisasi GEE* Citra *Landsat 5 TM* Tahun 2003 *Band 5 – 4 – 1*, dan 1 ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Citra *Landsat 5 TM* Tahun 2003 *Band 5, 4, dan 1*

Citra *Landsat* yang digunakan dalam melakukan identifikasi penggunaan lahan Tahun 2013 menggunakan citra *Landsat OLI TIRS 8* dengan kombinasi *Band 6 – 5 – 4*. *Visualisasi GEE* Citra *Landsat OLI TIRS 8* Tahun 2013 *Band 6, 5, dan 4* dapat ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Tampilan Citra Landsat OLI TIRS 8 Tahun 2013 Band 6, 5, dan 4

Sumber citra Landsat 5 TM 2003 dan Landsat OLI TIRS 8 2013 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh *Source code* pada gambar 5.

```
var dataset = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C02/T1_L2')
    .filterDate('2013-07-01', '2013-07-15');

// Applies scaling factors.
function applyScaleFactors(image) {
    var opticalBands = image.select('SR_B.').multiply(0.0000275).add(-0.2);
    var thermalBands = image.select('ST_B.*').multiply(0.00341802).add(149.0);
    return image.addBands(opticalBands, null, true)
        .addBands(thermalBands, null, true);
}

dataset = dataset.map(applyScaleFactors);

print(dataset)

var dataset1 = dataset.mosaic()

var visualization = {
    bands: ['SR_B6', 'SR_B5', 'SR_B4'],
    min: 0.0,
    max: 0.3,
};

Map.addLayer(dataset1.clip(Bogor), visualization, 'True Color (432)');
```

Gambar 5. *Source code* citra Landsat 5 TM Tahun 2003 dan Landsat OLI TIRS 8 Tahun 2013

4.4.3. Klasifikasi Lahan Tahun 2003 dan 2013

Analisis penggunaan lahan pada tahap ini menggunakan data yang sudah diambil melalui observasi dan membuat *training sample* berupa 7 kelas lahan yaitu badan air, lahan terbangun, kebun, sawah, hutan, dab semak belukar hasil dari *training sample* yang sudah dibuat diklasifikasikan menggunakan metode *random forest*. Adapun *Source code* untuk mendefinisikan 7 kelas penggunaan lahan tersebut ditampilkan pada gambar 6.

```
// Membangun kelas penggunaan lahan.
var classNames = BadanAir.merge(LahanTerbangun).merge(Kebun).merge(
    Sawah).merge(Hutan).merge(LahanTerbuka).merge(SemakBelukar);
print(classNames);
```

Gambar 6. *Source Code* 7 kelas penggunaan lahan

Terdapat juga *Source code* untuk memilih band pada saat klasifikasi dengan metode *Random Forest*. Ditampilkan pada gambar 7.

```
// Memilih band yang akan digunakan untuk klasifikasi.
var bands = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B7'];
```

Gambar 7. *Source Code* Tampilan Band Untuk Klasifikasi

Source code dibawah ini dapat mendefinisikan penggunaan lahan pada setiap *training sample* dan melakukan *classifier* yaitu algoritma *random forest* lalu *mentrain* yang terdiri dari *features: training*, *classProperty: TL* dan *input Properties: Band*. Dapat dilihat dari gambar 8.

```
// Klasifikasi menggunakan Random Forest
var labelcover = 'TL';
var training = dataset1.select(bands).sampleRegions({
    collection: classNames,
    properties: ['TL'],
    scale: 30,
});
print(training);

var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
    features: training,
    classProperty: 'TL',
    inputProperties: bands
});

var classified = dataset1.select(bands).classify(classifier);
```

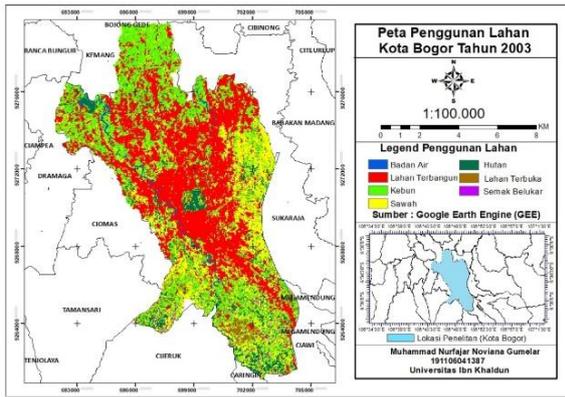
Gambar 8 *Source Code* Klasifikasi *Random Forest*

Source Code dibawah ini merupakan rendering untuk gambar yang dimaksudkan untuk mengidentifikasi lahan, dengan badan air berwarna biru, lahan terbangun berwarna merah, kebun berwarna hijau muda, sawah berwarna kuning, hutan berwarna hijau tua, lahan terbuka berwarna coklat, dan semak belukar berwarna ungu. *Source Code* tersebut ditampilkan pada Gambar 9.

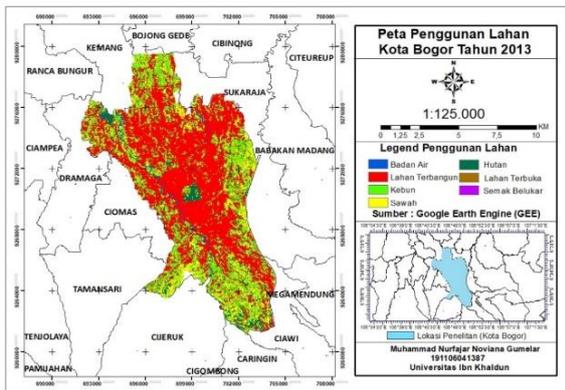
```
//Display classification
Map.centerObject(classNames, 11);
Map.addLayer(classified.clip(Bogor), {min: 0, max: 6,
    palette: ['#0000ff', '#ff0000', '#2bff00', '#fff407', '#0ca400', '#8f7a45', '#f800ff']}, 'classification');
```

Gambar 9. *Source Code* Display Classification

Gambar berikut menunjukkan hasil klasifikasi penggunaan lahan yang dihasilkan oleh *Google Earth Engine* pada tahun 2003 dan 2013. Untuk setiap kelas, warna yang berbeda dapat digunakan untuk menunjukkan hasilnya. Misalnya, badan air diwarnai biru, lahan yang terbangun diwarnai merah, kebun diwarnai hijau muda, sawah diwarnai kuning, hutan diwarnai hijau tua, lahan terbuka diwarnai coklat, dan semak belukar diwarnai ungu. Citra tersebut dapat ditampilkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10. Peta Area Penggunaan Lahan Tahun 2003



Gambar 11. Peta Area Penggunaan Lahan Tahun 2003

Tabel 1 dan 2 menunjukkan luas area penggunaan lahan tahun 2003 dan 2013 dengan satuan hektar di Arc GIS melalui penghitungan geometry.

Tabel 1. Luasan Penggunaan Lahan tahun 2003

No	Jenis	Luas (Hektar)	Persentase (%)
1	Badan Air	123 Ha	1%
2	Lahan Terbangun	4497 Ha	40%
3	Kebun	3378 Ha	30%
4	Sawah	2248 Ha	20%
5	Hutan	594 Ha	5%
6	Lahan Terbuka	167 Ha	2%
7	Semak Belukar	97 Ha	1%
Total Luas Area (Ha)		1104 Ha	100%

Tabel 2. Luasan Penggunaan Lahan tahun 2013

No	Jenis	Luas (Hektar)	Persentase (%)
1	Badan Air	123 Ha	1%
2	Lahan Terbangun	6076 Ha	55%
3	Kebun	2478 Ha	22%
4	Sawah	1804 Ha	16%
5	Hutan	487 Ha	4%
6	Lahan Terbuka	104 Ha	1%
7	Semak Belukar	32 Ha	1%
Total Luas Area (Ha)		1104 Ha	100%

4.4.4. Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Cellular Automata-Logistic Regression

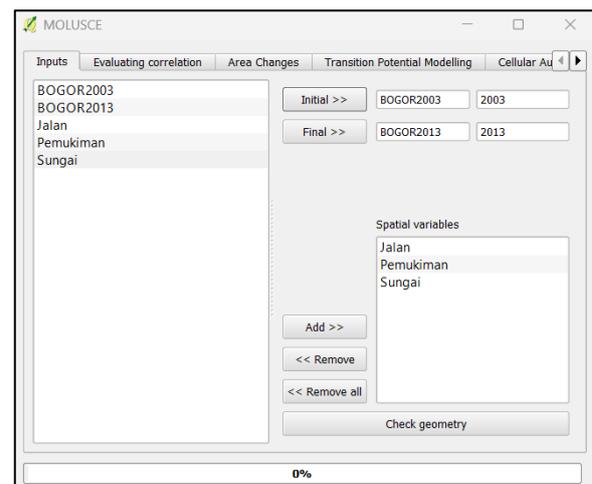
Adapun pemodelan perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan menggunakan software QGIS dengan Plug in Molusce. Dalam proses pemodelan perubahan penggunaan lahan, faktor pendorong diperlukan. Faktor-faktor ini memiliki kemampuan untuk mempengaruhi atau mendorong perubahan tersebut terjadi. Jarak ke jalan, jarak ke sungai, dan jarak ke permukiman adalah faktor pendorong yang digunakan dalam penelitian ini.

Semakin besar nilai transisi, maka semakin besar perubahan yang terjadi pada jenis penggunaan lahan. Matriks transisi memiliki rentang nilai 0-1. Nilai di antara 0,01 dan 0,99 menunjukkan kemungkinan adanya perubahan penggunaan lahan, sedangkan nilai antara 0 dan 1 menunjukkan kemungkinan tetap atau tidak ada perubahan [13].

Adapun hasil pengolahan dengan metode regresi logistik pada Molusce yang menghasilkan nilai *pseudo-R squared*. Nilai *pseudo-R squared* menunjukkan tingkat kepercayaan variabel bebas dalam menjelaskan variabel keterikatan (penggunaan lahan). Dalam teori Clark dan Hosing, nilai *pseudo-R* 2 dianggap relatif kuat jika nilainya lebih besar dari 0,2 [13]. Selanjutnya, *Cellular Automata Simulation* digunakan untuk membuat peta prediksi penggunaan lahan untuk tahun 2023, yang didasarkan pada peta tahun 2013 dan 2023. Berikut merupakan tahapan dalam pemodelan menggunakan *molusce*:

1) Input Model

Dalam Proses ini adalah memasukan data penggunaan lahan Tahun 2003 sebagai *initial* dan Tahun 2013 sebagai *final*. Selanjutnya memasukan *Driving Factor* atau variabel faktor pendorong yaitu jarak dari jalan raya, pemukiman, dan sungai. Lalu data tersebut dimasukkan terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Input Model

2) Evaluating Correlation

Kekuatan hubungan antar elemen diukur melalui uji korelasi individu. Tahap evaluasi korelasi adalah

mengukur korelasi antar variabel pendorong dengan *Pearson's Correlation*. Hasil uji korelasi dapat dilihat pada Gambar 13.

	Pemukiman	Jalan	Sungai
Pemukiman	--	0.346920875833	0.243346532139
Jalan		--	0.084784435811
Sungai			--

Gambar 13. Korelasi antar variable

3) *Area Change*

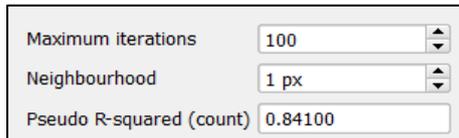
Proses ini menghasilkan matriks transisi dan tabel perubahan luas untuk setiap penggunaan lahan, yang menunjukkan bahwa kemungkinan besar perubahan penggunaan lahan akan terjadi. Seperti pada Table 3.

Tabel 3. Area Change

Analisa Penggunaan Lahan							
No	Kelas Penggunaan Lahan	2003		2013		2023	
		Luasan (Ha)	Persentase (%)	Luasan (Ha)	Persentase (%)	Luasan (Ha)	Persentase (%)
1	Badan Air	123	1%	123	1%	123	1%
2	Pemukiman	4497	40%	6076	55%	7202	65%
3	Kebun	3378	30%	2478	22%	1912	17%
4	Sawah	2248	20%	1804	16%	1252	11%
5	Hutan	594	5%	487	4%	400	4%
6	Lahan Terbuka	167	2%	104	1%	152	1%
7	Semak Belukar	97	1%	32	1%	63	1%
Total Area Penggunaan lahan		11104 Ha		11104 Ha		11104 Ha	

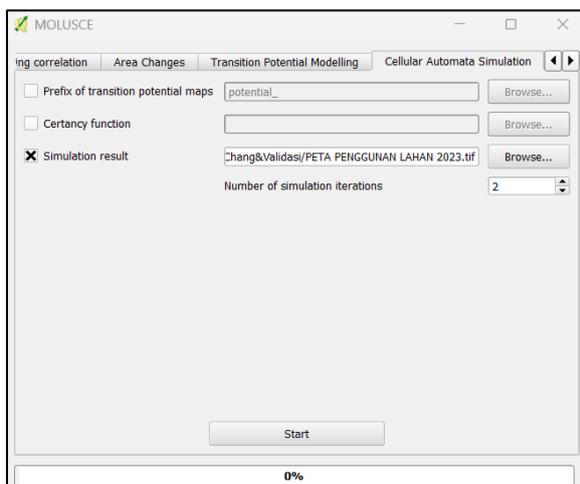
4) *Transition Potensial Modelling*

Hasil regresi logistik menghasilkan model regresi dengan nilai *pseudo-R 2* sebesar 0,841 . Nilai ini menunjukkan tingkat kepercayaan variabel bebas, atau variabel faktor pendorong, dalam menjelaskan variabel keterikatan, atau penggunaan lahan. Hasil nilai *pseudo-R 2* dapat ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. *Transition Potensial Modelling*

5) *Cellular Automata Simulation*



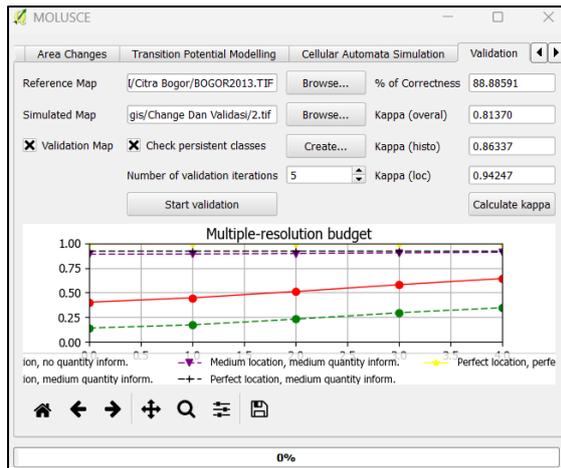
Gambar 15. *Cellular Automata Simulation*

Pembuatan model penggunaan lahan dimulai dengan simulasi *Cellular Automata*. Tahun prediksi = tahun sebelumnya + rentang tahun. Dalam kasus ini, tahun 2003 adalah tahun awal, 2013 adalah rentang tahun akhir, dan tahunnya adalah 10 tahun. Oleh karena itu, tahun prediksi yang dihasilkan dari penelitian ini adalah tahun 2023, dengan iterasi dua kali. Namun, jika ingin memprediksi beberapa tahun ke depan, seperti tahun 2033, jumlah iterasi akan bertambah menjadi 4 kali. Proses tersebut bisa dilihat dari Gambar 15.

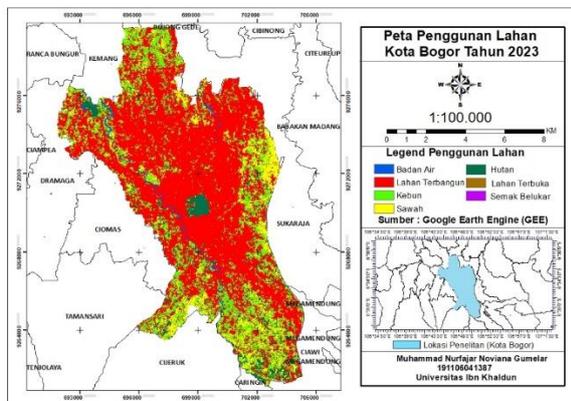
6) *Validation*

Validation model perlu dilakukan untuk mengetahui keakuratan dari model prediksi yang dihasilkan. Nilai akurasi kappa 0,81 hingga 1,00 menunjukkan kesepakatan yang sangat baik; nilai 0,61 hingga 0,80 adalah baik; nilai 0,41 hingga 0,60 sedang ; nilai 0,21 hingga 0,40 adalah kurang dari sedang; dan nilai di bawah 0,2 buruk [13]. Proses tersebut bisa dilihat dari Gambar 16.

Pada Gambar 14 diatas menunjukan bahwa keakuratan dari model prediksi yang dihasilkan adalah 0,81 yang berarti nilai validasi tersebut sangat baik. Hasil peta penggunaan lahan Kota Bogor untuk tahun 2023 bisa dilihat dari Gambar 17. Peta penggunaan lahan tersebut didapatkan dari peta penggunaan lahan tahun 2003 dan 2013 untuk membuat peta penggunaan lahan 2023 .



Gambar 16. Validation



Gambar 17. Peta penggunaan lahan tahun 2023

Tabel 4 menunjukkan luas penggunaan lahan dengan satuan hektar pada tahun 2023, yang telah dihitung di Arc Gis melalui perhitungan *Geometry*.

Tabel 4. Luasan Penggunaan Lahan Tahun 2023

No	Jenis	Luas (Hektar)	Persentase (%)
1	Badan Air	123 Ha	1%
2	Lahan Terbangun	8107 Ha	73%
3	Kebun	1416 Ha	13%
4	Sawah	982 Ha	9%
5	Hutan	365 Ha	3%
6	Lahan Terbuka	102 Ha	1%
7	Semak Belukar	9 Ha	1%
Total Luas Area (Ha)		1104 Ha	100%

Untuk hasil klasifikasi prediksi penggunaan lahan tahun 2023, dilakukan uji akurasi kappa. Uji akurasi dilakukan untuk memicu tingkat kesalahan dalam klasifikasi area. *Overall Accuracy* dan koefisien Kappa adalah akurasi yang dapat dihitung untuk ketelitian Peta. Hal ini dilakukan dengan membuat tabel kesalahan, sehingga dapat ditentukan besar persentase pemetaan. Berikut hasil uji akurasi kappa yang sudah dibuat pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji Akurasi

Kelas	Badan Air	Lahan Terbangun	Kebun	Sawah	Hutan	Lahan Terbuka	Semak Belukar	Total Baris	User Accuracy	Commision Error
Badan Air	2	-	-	-	-	-	-	2	100,00	0
Lahan Terbangun	-	130	2	-	-	1	1	134	97,01	2,99
Kebun	-	1	34	-	-	2	-	37	91,89	14,29
Sawah	-	5	3	23	-	3	-	34	67,54	32,26
Hutan	-	2	-	-	7	-	-	9	77,77	20,69
Lahan Terbuka	-	1	-	-	-	3	2	6	50	50
Semak Belukar	-	-	-	-	-	-	1	1	100	0
Total Kolom	2	139	39	23	7	9	4	223		
Produser Accuracy	100	93,52	87,17	100	100	37,5	25			
Omission Error	0	6,48	12,83	0	0	66,67	75			

Note:(BA)Badan Air, (LT)Lahan Terbangun, (KB)Kebun, (SW)Sawah, (HT)Hutan, (LB)Lahan Terbuka, (SB)Semak belukar

1. Menghitung Overall Accuracy

- Overall Accuracy = $\frac{\text{Jumlah Total Klasifikasi yang benar}}{\text{Jumlah Total Klasifikasi}} \times 100 = \frac{200}{223} \times 100\% = 89.68\%$

2. Menghitung Koefisien Kappa

- Koefisien Kappa/ Kappa Cohen's = $\frac{N \sum_{k=1}^r X_{kk} - \sum_{k=1}^r (X_{k+} \times X_{+k})}{N^2 - \sum_{k=1}^r (X_{k+} \times X_{+k})}$
 Koefisien Kappa = $\frac{NA - B}{N^2 - B} \times 100 = \frac{(223 \times 200) - 20977}{223^2 - 20977} \times 100\% = 82.16\%$

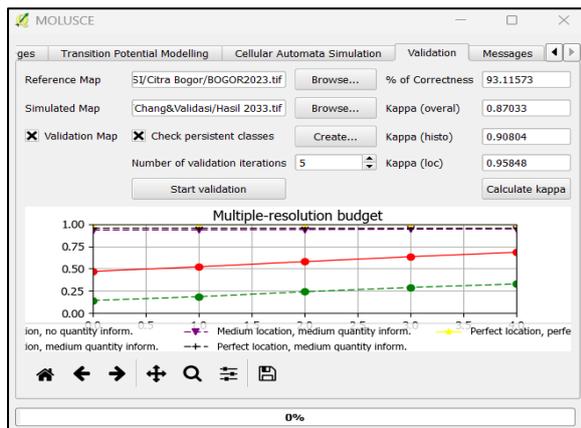
Dimana:

- A = Jumlah r diagonal elemen yang merupakan numerator pada perhitungan *overall accuracy*
- B = Jumlah dari r produk (total baris x total kolom)
- N = Jumlah piksel pada *error matrix*

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa total akurasi sebesar 89,68%; menurut evaluasi akurasi literatur, akurasi dengan nilai sebesar 89,68% dapat diterima karena nilai kappa setidaknya 80%. Penelitian ini juga menemukan nilai koefisien kappa 82,16%, yang menunjukkan bahwa koefisien kappa dapat diterima dan cukup baik [18].

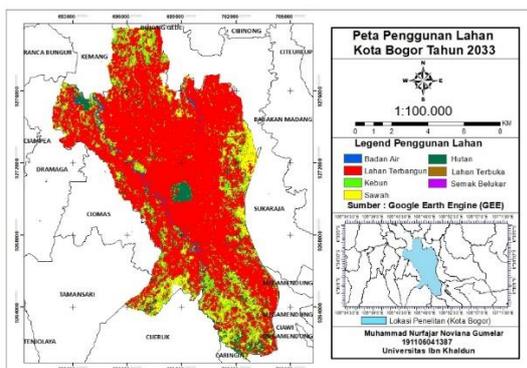
4.4.5. Analisis Simulasi Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2033

Pemodelan Penggunaan Lahan Tahun 2033 dilakukan menggunakan metode *Logistic Regression Cellular Automata* dalam plugin *Molusce* pada QGIS 2.18.15. Peta penggunaan lahan Tahun 2013 dan 2023 digunakan untuk menghasilkan peta penggunaan lahan Tahun 2033. Selain itu, total keakuratan Kappa dari model penggunaan lahan tahun 2033 adalah sekitar 0,87%, dengan persentase keakuratan sekitar 93,11%. Gambar 18 menunjukkan hasil ini.



Gambar 18. Akurasi Prediksi lahan tahun 2033

Terdapat juga peta simulasi penggunaan lahan Kota Bogor Tahun 2033 pada Gambar 19.



Gambar 19 Peta Prediksi Penggunaan lahan tahun 2033

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian penggunaan lahan di Kota Bogor tahun 2003, 2013, dan 2023 menunjukkan peningkatan signifikan dalam jenis penggunaan lahan terbangun karena kebutuhan masyarakat akan tempat tinggal, fasilitas umum, dan infrastruktur di lahan perkotaan. Hasil model tahun 2023 sangat akurat dengan total akurasi 89,68% dan koefisien kappa 82,16%. Sehingga dapat digunakan untuk melakukan simulasi penggunaan lahan Kota Bogor pada tahun 2033. Hasil prediksi simulasi penggunaan lahan tahun 2033 menunjukkan akurasi yang sangat baik, dengan nilai Kappa keseluruhan sekitar 0,87% dan persentase kebenaran sekitar 93,11%. Akurasi model ini dapat digunakan sebagai pemodelan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ekadinata, Sonya Dewi, D. Pras, D. K. Nugroho, dan F. Johan, *Buku 1: Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan jauh Menggunakan ILWS Open Source, Word Agroforestry Center, Bogor, Indonesia*, 1 ed., vol. 1. 2008.
- [2] R. Fitriyanto dan C. Susetyo, “Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Terbangun Berbasis Cellular Automata di Perkotaan Ngawi,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 1, 2023, Diakses: 28 September 2023. [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/96226/>
- [3] I. Fardani, F. Alain, J. Mohmed, dan I. Chofyan, “Pemanfaatan Prediksi Tutupan Lahan Berbasis Cellular Automata-Markov dalam Evaluasi Rencana Tata Ruang,” *Media Komunikasi Geografi*, vol. 21, no. 2, 2020, doi: 10.23887/mkg.v21i2.
- [4] B. Nuari Priambudi, dan Bitta Pigawati, K. Kunci, P. Lahan, dan S. Ekonomi, “Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perubahan Pemanfaatan Lahan Dan Sosial Ekonomi Di Sekitar Apartemen Mutiara Garden,” 2014. doi:<https://doi.org/10.20961/region.v14i2.22464>.
- [5] Rizkhi, V. Novianti, Fajar F. Magfira, dan F. Ramadani, “Kesesuaian Kegiatan Pemanfaatan Ruang Pada Kawasan Lindung di Kota Palu,” *Journal PeWeKa Tadakulo*, vol. 2, no. 1, 2023, Diakses: 5 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <http://pewekatadakulo.fatek.untad.ac.id>
- [6] A. L. Kamil, L. Ode, A. Minsaris, dan D. A. Lestari, “Mapping The Distribution Of Mangrove In Serang Regency Using Remote Sensing (Case Study Of Pulau Panjang),” *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komunikasi (JTik)*, vol. 14, no. 1, hlm. 153–158, 2023, doi: <https://doi.org/10.51903/jtikp.v14i1.535>.
- [7] B. Susilo, “Modeling Spatial Integration Probabilistic Markov Chain And Cellular Automata For The Study Of Land Use Change

- Regional Scale In DIY Yogyakarta,” *Gea*, vol. 11, no. 2, hlm. 163–178, 2011, doi: <https://doi.org/10.17509/gea.v11i2.1638.g1101>.
- [8] S. Asfiati dan Zurkiyah, “Pola Penggunaan Lahan Terhadap Sistem Pergerakan Lalu Lintas Di Kecamatan Medan Perjuangan, Kota Medan,” *SEMNASTEK UISU*, hlm. 206–216, 2021, Diakses: 28 September 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://bit.ly/semnastek2021L>
- [9] F. Dwi Julianto, D. Pratiwi, D. Putri, dan H. Safi’i, “Analisis Perubahan Vegetasi dengan Data Sentinel-2 menggunakan Google Earth Engine (Studi Kasus Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta),” *jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, vol. 2, no. 2, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <http://jurnal.mapin.or.id/index.php/jpji/issue/archive>
- [10] E. Utomo, I. A. Syarif, dan A. I. Maharani, “Pemanfaatan Citra Google Earth Untuk Pembuatan Peta Wilayah Desa Sempayang dan Analisis Perbandingan Hasil Luas Penggunaan Lahan Pemukiman Berdasarkan Metode Supervised dan Unsupervised Classification,” *Indonesian Journal of Community Empowerment and Service*, vol. 2, no. 2, 2022, doi: <https://doi.org/10.33369/icom.es.v2i2.24052>.
- [11] W. Siska, W. Widiatmaka, Y. Setiawan, dan S. H. Adi, “Pemetaan Perubahan Lahan Sawah Kabupaten Sukabumi Menggunakan Google Earth Engine,” *TATALOKA*, vol. 24, no. 1, hlm. 74–83, Apr 2022, doi: [10.14710/tataloka.24.1.74-83](https://doi.org/10.14710/tataloka.24.1.74-83).
- [12] D. A. Nabila, “Pemodelan prediksi dan kesesuaian perubahan penggunaan lahan menggunakan Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN),” *Tunas Agraria*, vol. 6, no. 1, hlm. 41–55, Jan 2023, doi: [10.31292/jta.v6i1.203](https://doi.org/10.31292/jta.v6i1.203).
- [13] M. Hapsary, S. Subiyanto, dan H. S. Firdaus, “Analisis Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Pendekatan Artificial Neural Network Dan Regresi Logistik Di Kota Balikpapan,” *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30637>.
- [14] D. A. Narmaningrum dan S. Bowo, “Pemodelan Spasial Regresi Logistik Dan Cellular Automata Berbasis Citra Penginderaan Jauh Untuk Prediksi Pendangkalan Secara 2 Dimensi Waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri,” *Jurnal Bumi Indonesia*, vol. 4, no. 2, hlm. 108–118, 2015, Diakses: 28 September 2023.