

ANALISIS MODEL PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN MENGUNAKAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* DI KOTA SALATIGA

Iva Kusniawati*) Sawitri Subiyanto, Fauzi Janu Amarrohman

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: kusniawatiiva@gmail.com*)

ABSTRAK

Perkembangan perkotaan yang pesat dapat dilihat dari peningkatan jumlah penduduk dan mobilitas penduduk, sehingga kebutuhan akan lahan terbangun juga semakin meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan dan memprediksi perubahan penggunaan lahan di masa yang akan datang dengan mengintegrasikan model *cellular automata* dan *artificial neural network* serta menguji tingkat validitas dari model prediksi. Variabel yang digunakan sebagai faktor pendorong terjadinya perubahan lahan adalah jarak ke pemukiman, jarak ke jalan, dan jarak ke sungai, serta data kepadatan penduduk. Penelitian ini menitik beratkan pada penggunaan lahan industri, pemukiman, dan lahan pertanian. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2013 dari penelitian terdahulu, peta penggunaan lahan tahun 2018 hasil digitasi dan validasi lapangan. Data jaringan jalan, data jaringan drainase, dan data kepadatan penduduk digunakan sebagai data untuk faktor pendorong pemodelan. Hasil penelitian ini menunjukkan perubahan penggunaan lahan tahun 2008–2018 didominasi oleh perubahan penggunaan lahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Lahan pertanian mengalami penurunan sebesar 211,51 ha, pemukiman mengalami peningkatan sebesar 96,39 ha, dan industri mengalami peningkatan sebesar 77,51 ha. Validasi pemodelan menggunakan dua metode, yaitu kappa dan analisis spasial yang menghitung perbedaan titik *centroid* dan analisis perbedaan luas. Hasil validasi pemodelan memiliki Indeks Kappa sebesar 0,972, nilai RMS sebesar 3,234 m, dan 96% luas antara peta prediksi dengan peta hasil digitasi dikatakan sesuai, sehingga pemodelan ini tergolong mempunyai kemiripan yang sangat baik terhadap kondisi eksisting penggunaan lahan tahun 2018.

Kata Kunci: ANN dan CA, Kota Salatiga, Perubahan Penggunaan Lahan, SIG

ABSTRACT

Rapid urban development can be seen from the increase in population and population mobility, so that the need for built-up land is also increasing. This study aims to determine changes in land use and predict future land use changes by integrating cellular automata and artificial neural network models and testing the validity of predictive models. The variables used as driving factors for land changes are distance to settlements, distance to roads, and distance to rivers, as well as population density data. This research focuses on the use of industrial land, settlement, and agricultural land. Data used in this study include land use maps for 2008 and 2013 from previous studies, land use maps for 2018 resulting from digitization and field validation. Road network data, drainage network data, and population density data are used as data for modeling driving factors. The results of this study indicate that changes in land use in 2008-2018 are dominated by changes in land use from agricultural land to non-agricultural land. Agricultural land decreased by 211.51 ha, settlement increased by 96.39 ha, and industry increased by 77.51 ha. Model validation uses two methods, namely kappa and spatial analysis which compute centroid point differences and area difference analysis. The results of modeling validation have a Kappa Index of 0.972, an RMS value of 3.234 m, and 96% of the area between the prediction map and the digitization map are said to be appropriate, so that this model is classified as having very good similarities to the existing conditions of land use in 2018.

Keywords: ANN and CA, Changes in Land Use, GIS, Salatiga City

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kota Salatiga terletak di jalur strategis Jawa Tengah yang menghubungkan Kota Semarang dengan Kota Surakarta. Kota Semarang dan Kota Surakarta kini menjadi barometer pertumbuhan ekonomi di Jawa Tengah. Dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat membawa konsekuensi logis terhadap pertumbuhan daerah yang dilalui jalur tersebut, salah satunya adalah pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan lahan terbangun. Pada tahun 2013–2017, Kota Salatiga mengalami pertambahan jumlah penduduk sebesar 10.209 penduduk, dan mengalami kepadatan penduduk sebesar 179 per km² dan penggunaan lahan non pertanian mengalami peningkatan sebesar 75 ha (Badan Pusat Statistik, 2017).

Persaingan dalam memenuhi kebutuhan lahan yang semakin meningkat tersebut dapat menyebabkan kerusakan lahan serta menurunnya kualitas lingkungan kota. Perubahan tersebut akan terus berlangsung sejalan dengan meningkatnya jumlah dan aktifitas penduduk dalam menjalankan kehidupan ekonomi, sosial dan budaya, yang pada akhirnya berdampak positif maupun negatif (Tasha, 2012).

Selama kurun waktu 5 tahun dari tahun 2010–2014, penggunaan lahan di Kota Salatiga mengalami perkembangan yang mengarah ke sektor hunian atau penggunaan lahan untuk permukiman, perdagangan, industri dan penggunaan lahan non pertanian, yang mengakibatkan terjadinya alih fungsi penggunaan lahan yang sebagian besar pada lahan pertanian (Tusianto et al., 2015). Oleh karena itu, diperlukan monitoring dan prediksi mengenai penggunaan lahan sebagai perkembangan perkotaan. Perkembangan perkotaan merupakan suatu proses dimana terjadi perubahan keadaan dari suatu perkotaan dalam kurun waktu yang berbeda..

Penggunaan lahan Kota Salatiga di masa mendatang dapat diprediksi menggunakan aplikasi sistem informasi geografis dengan mengintegrasikan model *cellular automata* dan *artificial neural network*. Model ANN digunakan untuk menentukan lokasi atau daerah mana saja dari penggunaan lahan yang mengalami perubahan dengan melihat matriks peluang perubahan lahan. SIG digunakan dalam aspek keruangan untuk membangun variabel-variabel pendorong. Variabel yang digunakan sebagai faktor pendorong terjadinya perubahan lahan pada penelitian ini adalah faktor aksesibilitas yang berupa jarak ke pemukiman, jarak ke jalan utama, dan jarak ke jalan tol, jarak ke sungai, serta kepadatan penduduk.

Penelitian ini juga bertujuan untuk melihat arah perkembangan lahan terbangun yang didasarkan pada perubahan penggunaan lahan yang terjadi, khususnya industri dan pemukiman. Hasil penelitian ini berupa peta penggunaan lahan tahun 2008, tahun 2013, dan tahun 2018, serta peta perubahan penggunaan lahan tahun 2008–2018, uji validitas model, dan peta proyeksi penggunaan lahan tahun 2018.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga dari tahun 2008–2018 berdasarkan metode *cellular automata*?
2. Bagaimana tingkat validitas model yang dihasilkan dari peta prediksi penggunaan lahan tahun 2018?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga dari tahun 2008–2018.
2. Mengetahui tingkat validitas model yang dihasilkan dari peta prediksi penggunaan lahan pada tahun 2018.

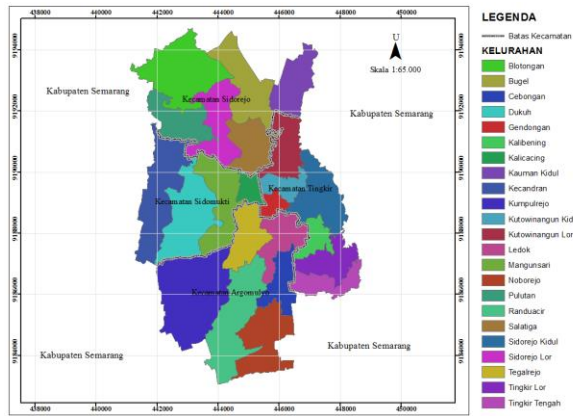
I.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian berada di Kota Salatiga, Jawa Tengah.
2. Data penelitian yang digunakan adalah peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2013, citra satelit resolusi tinggi tahun 2018, peta batas administrasi Kota Salatiga, peta jaringan jalan dan jaringan drainase, serta data kepadatan penduduk.
3. *Software* yang digunakan untuk pengolahan model CA dan ANN adalah QGIS Dekstop 2.18.10 dengan menambahkan *plugin molusce*.
4. *Software* ArcGIS digunakan untuk analisis spasial.
5. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah.
 - a. Mengklasifikasikan penggunaan lahan dengan metode digitasi untuk membuat peta penggunaan lahan tahun 2008, 2013, dan 2018.
 - b. Metode *overlay intersect* untuk mendapatkan luas perubahan penggunaan lahan per-kecamatan.
 - c. Pendekatan *artificial neural network* untuk memodelkan perubahan penggunaan lahan.
 - d. Metode *cellular automata* untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2018 dan menguji tingkat validitas model prediksi.
 - e. Validasi pemodelan menggunakan metode *kappa* dan analisis spasial *overlay* (perbedaan titik *centroid* dan luas).
6. Perubahan penggunaan lahan yang di analisis dalam penelitian ini adalah penggunaan lahan pemukiman, industri dan lahan pertanian.
7. Pengambilan sampel untuk validasi penggunaan lahan hanya terbatas sebesar 20% dari NSPK BPN Tahun 2012.

I.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Kota Salatiga, Jawa Tengah. Kota Salatiga terdiri dari 4 kecamatan dan 23 kelurahan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Perkembangan Wilayah

Pertumbuhan fisik wilayah merupakan masalah besar bagi beberapa negara berkembang. Salah satunya adalah Indonesia, yang mengalami masalah serius dalam hal pertumbuhan wilayah. Daerah yang tumbuh akan membutuhkan ruang sebagai tanah fisik pengembangan (Subiyanto & Amarrohman, 2019). Menurut (Nuzullia & Pradoto, 2015) terdapat enam faktor yang mempengaruhi proses perkembangan ruang perkotaan ke wilayah pinggiran kota. Adapun keenam faktor itu adalah sebagai berikut.

1. Faktor Aksesibilitas (*Accessibility*)
2. Faktor Pelayanan Umum (*Public Services*)
3. Karakteristik Lahan (*Land Characteristics*)
4. Karakteristik Pemilik Lahan (*Land Owner's Characteristic*)
5. Peraturan Mengenai Tata Guna Lahan (*Regulatory Measures*)
6. Prakarsa Pengembang (*Developer Initiatives*)

II.2 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan interaksi manusia dan lingkungannya, di mana fokus lingkungan adalah lahan, sedangkan sikap dan tanggapan kebijakan manusia terhadap lahan akan menentukan langkah-langkah aktivitasnya, sehingga akan meninggalkan bekas di atas lahan sebagai bentuk penggunaan lahan (Ritohardoyo, 2013). Faktor utama penyebab terjadinya perubahan penggunaan lahan adalah peningkatan jumlah penduduk (Tasha, 2012). Peningkatan ini memiliki konsekuensi terhadap perkembangan ekonomi yang menuntut kebutuhan lahan untuk pemukiman, industri, pendidikan, infrastruktur dan jasa.

Penggunaan lahan di pedesaan maupun di perkotaan menunjukkan kompleksitas yang berbeda. Perbedaan kompleksitas tersebut didukung oleh objek-objek bentang alam, bentang budaya, ekosistem,

sistem produksi, dan lain sebagainya. Oleh karena itu, diperlukan pengelompokan atau klasifikasi untuk kegiatan inventarisasi. Menurut (Ritohardoyo, 2013), syarat klasifikasi penggunaan lahan jika disajikan dalam suatu peta antara lain sebagai berikut.

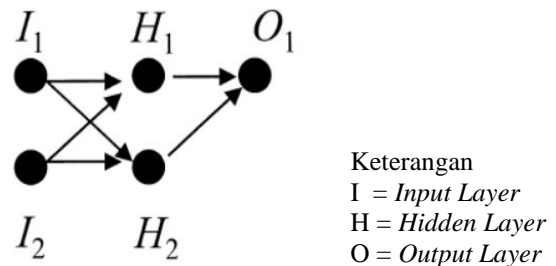
1. Sesuai dengan keadaan nyata.
2. Sebutan klasifikasi yang harus bermakna jelas.
3. Sederhana, mudah dimengerti untuk dikelompokkan.
4. Harus mempertimbangkan klasifikasi yang sudah ada sebelumnya.
5. Harus dapat dicantumkan dalam peta (simbol).
6. Simbol harus bermakna tunggal.

II.3 Model dan Pemodelan Penggunaan Lahan

Model adalah bentuk sederhana dari sebuah kinerja sistem yang sangat kompleks. Pemodelan perubahan penggunaan lahan merupakan salah satu bentuk pemodelan yang mempelajari adanya suatu hubungan sebab akibat antara pengelolaan suatu lahan dengan perubahan penggunaan lahan yang terjadi (Tasha, 2012).

II.3.1 Artificial Neural Network (ANN)

Metode ANN merupakan suatu metode, teknik atau pendekatan yang memiliki kemampuan untuk mengukur dan memodelkan suatu perilaku dan pola yang kompleks (Tasha, 2012). Metode ANN yang diaplikasikan pada pemodelan perubahan penutupan/penggunaan lahan, bekerja dalam dalam empat tahap, yaitu (1) menentukan *input* dan arsitektur jaringan, (2) membuat jaringan dengan menggunakan sebagian piksel dari *input*, (3) menguji jaringan dengan menggunakan semua piksel dari *input*, dan (4) menggunakan informasi yang telah dihasilkan oleh jaringan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan ke depan (Atkinson dan Tatnall, 1997 dalam Kubangun dkk., 2016). Salah satu bentuk topologi jaringan yang dihasilkan ANN dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Topologi jaringan ANN (Tasha, 2012)

II.3.2 Cellular Automata

Salah satu kemampuan lanjut dari teknologi SIG dapat digunakan dalam penyusunan model *cellular automata*. Automata seluler (*cellular automata*) adalah model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*spatial distributed process*) dalam GIS (Baja, 2012). Salah satu kelebihan CA adalah dapat diintegrasikan dengan model lain baik yang

berbasis visual, statistik, maupun kecerdasan buatan (Wijaya & Umam, 2015).

Menurut (Parasdyo & Susilo, 2012) bentuk tradisional CA terdiri dari lima komponen utama yaitu *cell, state, rules, neighborhood, dan time*. Matriks peluang transisi akan dihasilkan pada proses ini dan dijadikan dasar untuk melakukan proyeksi penggunaan lahan ke depan. Bentuk dari matriks transisi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3**.

$$P = (P_{ij}) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{pmatrix}$$

Gambar 3 Matriks Transisi (Tasha, 2012).

P_{ij} merupakan nilai peluang perubahan penggunaan lahan i menjadi penggunaan lahan j , dimana n menunjukkan jumlah kelas penggunaan lahan.

II.3.3 Uji Validasi Model

Validasi pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui keakuratan dari peta prediksi penggunaan lahan yang dihasilkan. Salah satu metode umum yang digunakan untuk validasi model adalah metode statistik *kappa*. Kappa dapat dihitung dari tabel kontingensi antara dua set data. Nilai untuk Kappa berkisar dari 1 yang berarti menunjukkan kesepakatan yang sempurna, hingga -1 menunjukkan tidak ada kesepakatan sama sekali. Perhitungan Kappa dapat dilihat pada persamaan 1 – 6 (NextGIS, 2013).

1. $Kappa = (P(A) - P(E)) / (1 - P(E))$(1)
2. $Kappa\ Loc = (P(A) - P(E)) / (P_{max} - P(E))$(2)
3. $Kappa\ Histo = (P_{max} - P(E)) / (1 - P(E))$(3)

Dimana:

$$p_o = \sum_{i=1}^c p(a = i \wedge s = i) \dots\dots\dots(4)$$

$$p_e = \sum_{i=1}^c p(a = i) \cdot p(s = i) \dots\dots\dots(5)$$

$$p_{Max} = \sum_{i=1}^c \min(p(a = i), p(s = i)) \dots\dots\dots(6)$$

$p(a=i \wedge s=i)$ adalah sel dari tabel kontingensi, $p(a=i) \cdot p(s=i)$ adalah jumlah semua sel dalam baris ke- i , $p(a=i)$, $p(s=i)$ adalah jumlah semua sel dalam kolom ke- i , dan c adalah jumlah dari kategori raster.

Metode lain yang dapat digunakan untuk validasi model secara visual adalah metode *overlay*. Metode ini memperhitungkan titik centroid antar kedua peta penggunaan lahan untuk mendapatkan nilai RMS dan nilai transformasi atau pergeseran. Metode *overlay* juga memperhitungkan selisih luas antar kedua penggunaan lahan untuk memvalidasi pemodelan. Rumus RMS yang digunakan untuk validasi pemodelan ini dapat dilihat pada persamaan 7, sedangkan rumus toleransi luas dapat dilihat pada persamaan 8.

$$RMS = \sqrt{((\Delta X - X_{rata})^2 + (\Delta Y - Y_{rata})^2) / (n-1)} \dots\dots(7)$$

$$Toleransi\ Kesalahan\ Luas = \pm 0,5\sqrt{L} \dots\dots\dots(8)$$

II.4 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam arti luas adalah sistem berbasis komputer yang memiliki kemampuan dalam menangani data bereferensi geografi yaitu pemasukan data, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan kembali), manipulasi dan analisis data, serta keluaran sebagai hasil akhir (Aronoff, 1989 dalam Adil, 2017). Menurut (Prahasta, 2009 dalam Putra, 2013) sub sistem SIG terdiri dari:

- a. Data *input*
- b. Data *output*
- c. Data *management*
- d. Data *manipulation & analisis*

II.5 Quantum GIS

Perangkat lunak *open source* semakin banyak digunakan di sektor publik maupun swasta. Dalam Sistem Informasi Geografis (SIG), perangkat lunak *open source* seperti QGIS sedang aktif dikembangkan. Molusce dirancang untuk menganalisis, memodelkan dan mensimulasikan perubahan penggunaan/tutupan lahan. *Plugin* ini menggabungkan algoritma terkenal, yang dapat digunakan dalam analisis perubahan penggunaan/tutupan lahan, analisis perkotaan. Molusce sangat cocok untuk menganalisis penggunaan lahan dan perubahan tutupan hutan antara periode waktu yang berbeda; memodelkan penggunaan lahan/menutup potensi transisi atau area yang berisiko deforestasi; dan mensimulasikan perubahan penggunaan lahan dan tutupan hutan di masa depan. Molusce terdiri dari lima tahapan yaitu modul *input*, analisis perubahan area, metode pemodelan, simulasi, dan validasi.

III. Data dan Metodologi

III.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Komputer dengan spesifikasi:
 - A. Sistem operasi: Microsoft Windows 7 ultimate
 - B. *Prosesor*: Intel® Celeron® CPU 847@ 1.10GHz
 - C. RAM: 2 Gb
 - D. *System Type*: 64-bit *Operating System*
2. *Software*
 - A. ArcMap 10.4.1.
 - B. QGIS Dekstop 2.18.10 with GRASS 7.2.1 dengan tambahan *plugin* Molusce.
 - C. Microsoft Office 2007.
 - D. *Mobile Topographer*.
3. Kamera HP.

III.2 Bahan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Citra Spot-7 Kota Salatiga tahun 2018 dari Pustekdata LAPAN.
2. Peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2013 dari penelitian terdahulu.

3. Peta batas administrasi dari Dinas PUPR Kota Salatiga.
4. Peta jaringan jalan dan jaringan drainase dari Dinas PUPR Kota Salatiga.
5. Peta kepadatan penduduk dari Badan Pusat Statistik Jawa Tengah.

III.3 Metodologi Penelitian

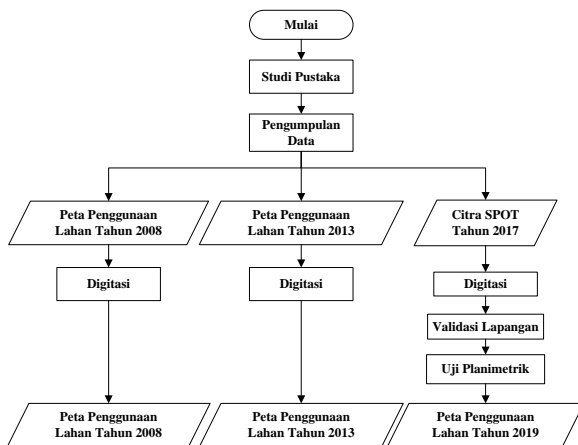
Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan data, tahap pembuatan model dan tahap pembuatan peta proyeksi penggunaan lahan ke depan.

III.4 Tahap Persiapan

Secara garis besar tahap persiapan meliputi dua hal penting yaitu studi pustaka dan pengambilan data. Studi pustaka dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan materi yang berkaitan dengan penelitian ini. Pengambilan data berupa data primer dan data sekunder. Selain itu, pembelajaran metode ANN dengan *software* QGIS 2.18.10 juga dilakukan untuk lebih memahami proses kerja metode tersebut.

III.5 Tahap Pengolahan Citra

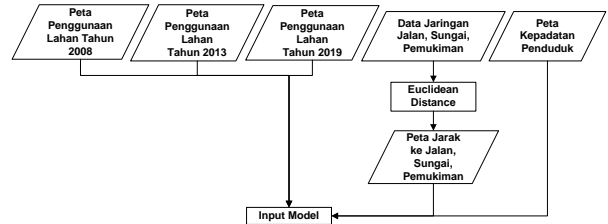
Citra satelit yang telah terkoreksi dilakukan interpretasi citra. Interpretasi citra menghasilkan peta penggunaan lahan tahun 2008, 2013, dan 2019 dengan kelas penggunaan lahan sebanyak 14 kelas berdasarkan klasifikasi dari NSPK BPN skala 1:10.000. Interpretasi menggunakan metode *digitasi on screen* pada *software* ArcGIS 10.4. Tahapan ini dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Tahap Pengolahan Citra

III.6 Tahap Pembuatan Pemodelan

Model yang digunakan pada penelitian ini adalah model ANN dengan arsitektur jaringan MLP (*Multi Layer Perceptron*) menggunakan *software* QGIS. Tahap pembuatan pemodelan dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5 Tahap Pembuatan Pemodelan

III.6.1 Pengolahan Data Parameter Perubahan Lahan

Plugin molusce pada *software* QGIS membutuhkan data dengan format raster. Oleh karena itu, data yang dibutuhkan perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi data raster.

III.6.2 Pengolahan Jarak

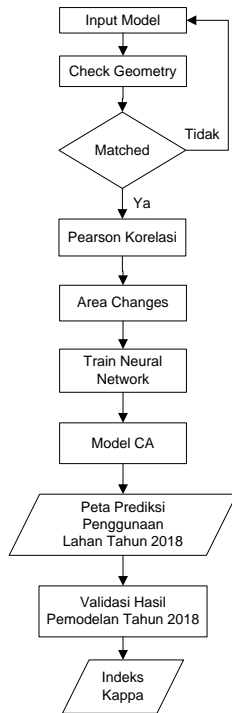
Peta jarak ke jalan, sungai, dan pemukiman dibuat dengan cara menjalankan *euclidean distance* pada *software* ArcGIS. Jarak dihitung berdasarkan *euclidean*, yaitu jarak dari satu objek ke objek yang lainnya. Peta jarak ke jalan dibuat dengan asumsi bahwa data jalan yang digunakan untuk perhitungan jarak memiliki bobot yang sama. Jenis jalan yang digunakan pada penelitian ini adalah jalan arteri primer, jalan lingkar selatan, dan jalan tol.

III.6.3 Pengolahan Data Kepadatan Penduduk

Peta kepadatan penduduk dibagi menjadi 3 klasifikasi, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Setelah diklasifikasi, selanjutnya diberi pengkodean kemudian dikonversi menjadi data raster.

III.7 Tahap Pembuatan Peta Prediksi

Model ANN ini dijalankan dengan menggunakan *plugin molusce* yang telah tersedia pada *software* QGIS 2.18.10. Peta penggunaan lahan yang digunakan hanya dua titik tahun, yaitu peta penggunaan lahan tahun 2008 dan 2013. Tahapan pembuatan peta prediksi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Tahapan Pembuatan Peta Prediksi Penggunaan Lahan

1. *Evaluating Correlation* Pearson

Keempat faktor pendorong diuji dengan korelasi pearson. Korelasi pearson mengukur keterkaitan antara satu variabel dengan masing-masing penggunaan lahan dengan rentang nilai 0–1, dimana 0 menunjukkan tidak ada keterkaitan, sedangkan nilai 1 menunjukkan adanya keterkaitan erat antara variabel tersebut dengan penggunaan lahan.

2. *Area Changes*

Pada tahap ini dihasilkan suatu tabel penambahan dan pengurangan luas tiap penggunaan lahan. Pada tahap ini, dihasilkan juga matriks transisi perubahan penggunaan lahan.

3. *Transition Potensial Modelling*

Penelitian ini menggunakan model *artificial neural network* dengan melakukan beberapa simulasi jaringan dengan mengatur nilai parameter. Parameter yang digunakan dalam simulasi untuk mencari nilai RMS terbaik yaitu *neighbourhood* 1 px, *learning rate* 0.010 dan 0.001, *momentum iterations* 100 dan 1000, dan *hidden layer* 1-5. Model akan berhenti apabila telah mencapai kondisi yang ditentukan.

4. *Cellular Automata Simulations*

Dalam molusce, panjang waktu prediksi (otomatis) adalah $t1+(t1-t0)$, di mana $t1$ adalah tahun akhir dan $t0$ adalah tahun awal, maka prediksi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah $2013+(2013-2008)= 2018$. Jika ingin lebih dari tahun 2018, maka tambahkan jumlah iterasinya (dikalikan dengan $3/(t1-t0)$).

5. *Validations Model*

Menurut (Altman, 1991 dalam Kubangun dkk., 2016) nilai *Kappa* 0,81-1,00 menunjukkan adanya

kesepakatan yang sangat baik, 0,61-0,80 adalah baik, 0,41-0,60 adalah sedang, 0,21-0,40 adalah kurang dari sedang, dan nilai <0,21 dikatakan buruk.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Penggunaan Lahan di Kota Salatiga

Penggunaan lahan Kota Salatiga pada tahun 2008, 2013, dan 2018 akan dijelaskan secara rinci pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Penggunaan Lahan di Kota Salatiga (Ha).

Penggunaan Lahan	2008	2013	2018
Pertanian Tanah Kering	2235,72	2241,35	2152,95
Pemukiman	1984,49	2043,95	2080,88
Sawah Irigasi	401,70	377,96	371,38
Sawah Non Irigasi	372,49	321,42	317,01
Perkebunan	258,96	216,02	216,02
Fasilitas Pendidikan	96,49	100,08	109,03
Industri	61,83	98,15	139,34
Militer	38,19	38,19	38,19
Fasilitas Umum	37,28	45,90	51,48
Perdagangan	24,02	25,07	27,83
Pemukaman	23,99	24,94	25,56
Perkantoran	20,69	22,97	23,93
Fasilitas Kesehatan	15,07	14,79	17,18
TPA	5,71	5,81	5,81

Berdasarkan **Tabel 1** dapat di lihat bahwa kondisi penggunaan lahan Kota Salatiga tahun 2008 paling dominan adalah tanah pertanian, yaitu seluas 3268,87 ha (58,61%) yang terdiri dari sawah, pertanian tanah kering, dan perkebunan, sedangkan penggunaan lahan non pertanian yaitu seluas 2307,77 ha (41,38%). Kondisi penggunaan lahan Kota Salatiga tahun 2013 paling dominan adalah tanah pertanian, yaitu seluas 3156,75 ha (56,6%), sedangkan luas lahan non pertanian seluas 2419,84 ha (43,4%). Kondisi penggunaan lahan Kota Salatiga tahun 2018 paling dominan adalah tanah pertanian, yaitu seluas 3057,36 ha (54,82%). Penggunaan lahan non pertanian yaitu seluas 2519,23 ha (45,175%). Penggunaan lahan non pertanian terjadi peningkatan terutama pada penggunaan lahan pemukiman dan industri. Tanah pertanian mengalami penurunan luas terutama sawah dan pertanian kering.

IV.2 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga diperoleh dengan menggunakan *tools overlay intersect*.

IV.2.1 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2008–2013

Perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga tahun 2008–2013 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Perubahan Luas Penggunaan Lahan (Ha).

Penggunaan Lahan	2008	2013	Selisih Luas	Toleransi Luas	Ket.
Pertanian Tanah Kering	2235,72	2241,35	5,63	23,67	Tidak Signifikan
Pemukiman	1984,49	2043,95	59,46	22,60	Signifikan
Sawah Irigasi	401,70	377,96	-23,75	9,72	Signifikan
Sawah Non Irigasi	372,49	321,42	-51,07	8,96	Signifikan
Perkebunan	258,96	216,02	-42,94	7,34	Signifikan
Fasilitas Pendidikan	96,49	100,08	3,59	5,00	Tidak Signifikan
Industri	61,83	98,15	36,32	4,95	Signifikan
Militer	38,19	38,19	0,00	3,09	Tidak Signifikan
Fasilitas Umum	37,28	45,90	8,62	3,38	Signifikan
Perdagangan	24,02	25,07	1,04	2,50	Tidak Signifikan
Pemakaman	23,99	24,94	0,95	2,49	Tidak Signifikan
Perkantoran	20,69	22,97	2,28	2,39	Tidak Signifikan
Fasilitas Kesehatan	15,07	14,79	-0,28	1,92	Tidak Signifikan
TPA	5,71	5,81	0,10	1,20	Tidak Signifikan

Dalam kurun waktu lima tahun yaitu antara tahun 2008 sampai dengan 2013, kondisi penggunaan lahan di wilayah Kota Salatiga telah banyak mengalami perubahan. Penggunaan lahan sebagai kawasan industri mengalami penambahan seluas 36,32 ha. Pemukiman mengalami peningkatan luas lahan sebesar 59,46 ha. Lahan pertanian mengalami penurunan seluas 112,12 ha.

Penambahan luas pemukiman dan industri dikarenakan pembangunan jalan lingkar selatan Salatiga yang merupakan salah satu jalan strategis di Kota Salatiga, dan banyak pengembang perumahan yang mengembangkan bisnis propertinya di wilayah Kota Salatiga. Penurunan ini dikarenakan terjadinya alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan terbangun. Penurunan maupun penambahan luas dikatakan signifikan jika selisih luas yang dihasilkan lebih besar dari toleransi luas yang ditentukan, dan dikatakan tidak signifikan jika selisih luas lebih kecil dari toleransi luas yang ditentukan.

IV.2.2 Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2013–2018

Perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga tahun 2013–2018 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Perubahan Luas Penggunaan Lahan (Ha).

Penggunaan Lahan	2013	2018	Selisih Luas	Toleransi Luas	Ket
Pertanian Tanah Kering	2241,35	2152,95	-88,39	23,20	Signifikan
Pemukiman	2043,95	2080,88	36,93	22,80	Signifikan
Sawah Irigasi	377,96	371,38	-6,58	9,63	Tidak Signifikan
Sawah Non Irigasi	321,42	317,01	-4,41	8,90	Tidak Signifikan
Perkebunan	216,02	216,02	0,00	7,34	Tidak Signifikan
Fasilitas Pendidikan	100,08	109,03	8,94	5,22	Signifikan
Industri	98,15	139,34	41,19	5,90	Signifikan
Militer	38,19	38,19	0,00	3,09	Tidak Signifikan

Fasilitas Umum	45,90	51,48	5,59	3,58	Signifikan
Perdagangan	25,07	27,83	2,76	2,63	Signifikan
Pemakaman	24,94	25,56	0,62	2,52	Tidak Signifikan
Perkantoran	22,97	23,93	0,96	2,44	Tidak Signifikan
Fasilitas Kesehatan	14,79	17,18	2,40	2,07	Signifikan
TPA	5,81	5,81	0,00	1,20	Tidak Signifikan

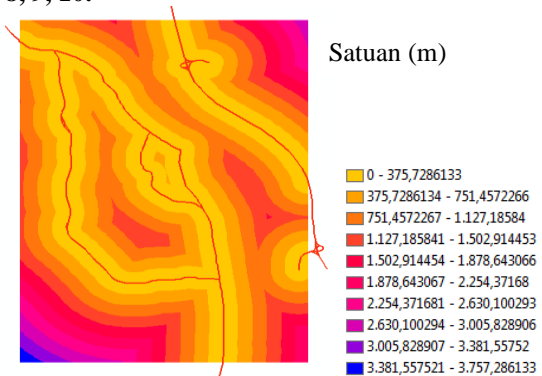
Berdasarkan **Tabel 3** dapat dilihat bahwa penggunaan lahan sebagai kawasan industri mengalami penambahan seluas 41,19 ha. Pemukiman juga telah mengalami peningkatan luas lahan sebesar 36,93 ha. Lahan pertanian mengalami penurunan sebesar 99,39 ha. Adanya penambahan luas ini dikarenakan pembangunan jalan tol Semarang–Surakarta yang melewati Kota Salatiga. Hal ini menyebabkan meningkatnya kebutuhan masyarakat untuk memiliki rumah dengan faktor aksesibilitas yang terjangkau. Penurunan maupun penambahan luas dikatakan signifikan jika selisih luas yang dihasilkan lebih besar dari toleransi luas yang ditentukan, dan dikatakan tidak signifikan jika selisih luas lebih kecil dari toleransi luas yang ditentukan.

Berdasarkan perubahan penggunaan lahan selama kurun waktu lima tahun, maka perubahan ini dapat dikaitkan dengan beberapa teori perkembangan wilayah. Teori Hoyht mengemukakan bahwa makin ke pusat kota, fungsi industri makin berkurang. Sebaliknya, perindustrian dan perumahan berkembang pesat di wilayah pinggiran kota yang lebar sektornya memang membesar.

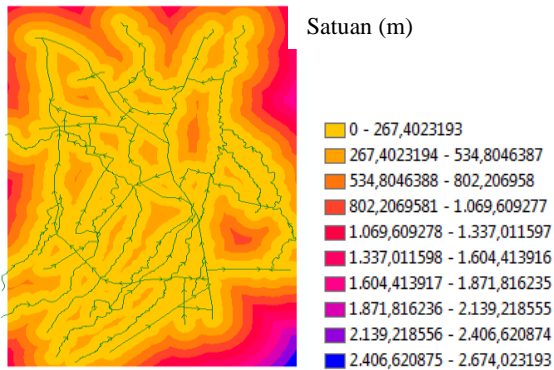
IV.3 Tingkat Validasi Model

IV.3.1 Input Model

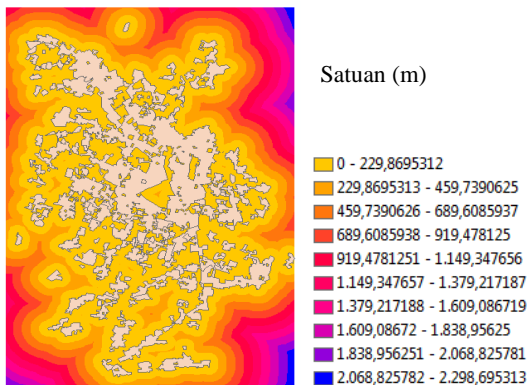
Peta yang dijadikan sebagai masukan adalah peta penggunaan lahan tahun 2008 sebagai *initial* dan peta penggunaan lahan tahun 2013 sebagai *final*. Faktor pendorong atau *driving factor* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak ke jalan, jarak ke pemukiman, jarak ke sungai, dan kepadatan penduduk. Peta jarak ke jalan, pemukiman, sungai, dan peta kepadatan penduduk akan ditampilkan pada **Gambar 7, 8, 9, 10**.



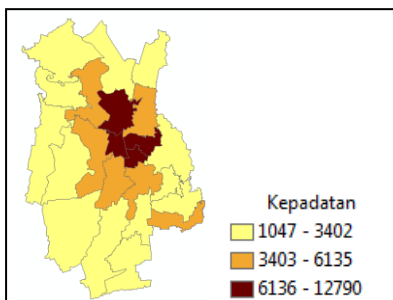
Gambar 7 Peta Jarak ke Jalan



Gambar 8 Peta Jarak ke Sungai



Gambar 9 Peta Jarak ke Pemukiman



Gambar 10 Peta Kepadatan Penduduk

IV.3.2 Evaluating Correlation

Semua *driving factor* dilakukan uji statistik menggunakan korelasi *pearson*. Uji korelasi ditampilkan dalam **Tabel 4**.

Tabel 4 Uji Korelasi.

	Kepadatan	Pemukiman	Jalan	Sungai
Kepadatan	-	0,23	0,16	0,11
Pemukiman		-	0,55	0,75
Jalan			-	0,31
Sungai				-

Faktor pendorong yang paling berpengaruh terhadap perubahan penggunaan lahan adalah jarak ke pemukiman, dengan nilai korelasi sebesar 0,75. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat penggunaan lahan terhadap pemukiman, maka semakin cepat perubahan penggunaan lahan yang terjadi. Jalan merupakan faktor dari segi ekonomi yang memberi pengaruh

terhadap perubahan penggunaan lahan, terutama pemukiman dan industri. Faktor sungai berbanding terbalik dengan kepadatan penduduk. Semakin tinggi kepadatan penduduk, maka kebutuhan akan lahan juga semakin meningkat, tetapi perubahan penggunaan lahan pinggiran sungai sangat kecil terjadi.

IV.3.3 Area Changes

Pada tahap ini, perubahan penggunaan lahan hasil pengolahan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Perubahan Penggunaan Lahan (Ha).

CLASS	2008	2013	Selisih
TPA	2.76	5.92	3.16
Sawah Non Irigasi	330.24	321.72	-8.52
Sawah Irigasi	383.72	375.88	-7.84
Perdagangan	22.72	22.72	0.00
Pendidikan	91.72	101.20	9.48
Pemukiman	2012.60	2044.64	32.04
Pemakaman	25.08	25.08	0.00
Pertanian Kering	2338.68	2255.88	-82.80
Militer	38.48	38.48	0.00
Industri	59.68	98.44	38.76
Perkantoran	21.32	22.64	1.32
Perkebunan	215.96	215.96	0.00
Kesehatan	15.40	15.40	0.00
Fasilitas Umum	17.56	31.96	14.40

Pada **Tabel 5** dapat dilihat bahwa penggunaan lahan industri mengalami penambahan terbesar sebesar 38,76 ha dan pemukiman mengalami penambahan sebesar 32,04 ha. Penggunaan lahan yang mengalami penurunan paling signifikan yaitu penggunaan lahan pertanian kering sebesar 82,80 ha.

Matriks transisi menghasilkan penggunaan lahan sawah memiliki peluang paling besar untuk berubah menjadi penggunaan lahan pemukiman, yaitu sebesar 0,020 dan 0,013. Sedangkan lahan pertanian kering berpeluang besar berubah menjadi lahan industri, yaitu sebesar 0,015. Penggunaan lahan yang lain seperti pendidikan, kantor, kesehatan, tidak berpeluang signifikan untuk berubah.

IV.3.4 Transition Potensial Modelling

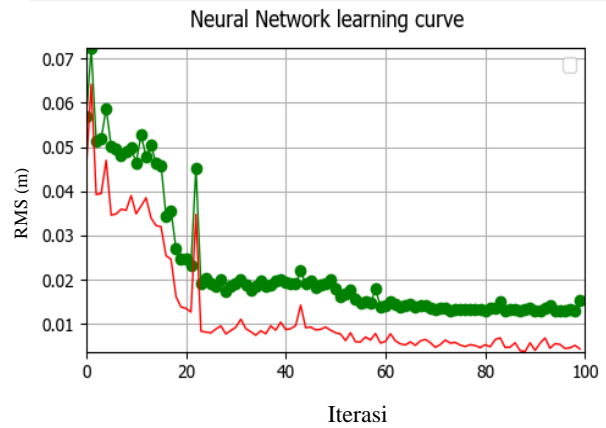
Topologi jaringan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 4-5-2, yaitu 4 *nodes* pada *input layer*, 5 *nodes* pada *hidden layer* dan 2 *nodes* pada *output layer*. Setiap *nodes* pada *layer* akan berhubungan dengan *nodes* pada *layer* berikutnya. Hasil pemodelan menggunakan ANN dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Hasil Akurasi Pemodelan.

Neighbourhood	1 px
Learning rate	0,010
Maximum iterations	100
Hidden layer	5
Momentum	0,050
Δ Overall accuracy	-0,00057

Min validation overall accuracy	0,00377
Current validation kappa	0,97710

Penelitian ini menggunakan nilai pengulangan dari 1000 menjadi 100, dan pada nilai pengulangan 100 didapatkan hasil RMS yang baik. Penambahan jumlah iterasi sampai pada batas iterasi optimum akan meningkatkan nilai RMS. Penambahan nilai iterasi yang melebihi batas optimum akan menyebabkan penurunan nilai RMS. Nilai iterasi yang besar (1000) tidak selalu memberikan akurasi yang baik, dan *learning rate* yang terlalu rendah akan menyebabkan algoritme akan semakin lama mencapai konvergen. Momentum menentukan besarnya perubahan bobot dari suatu pelatihan. Momentum dengan nilai 0,05 dianggap memiliki performa yang paling baik. Kurva hasil pemodelan ANN disajikan dalam **Gambar 11**.

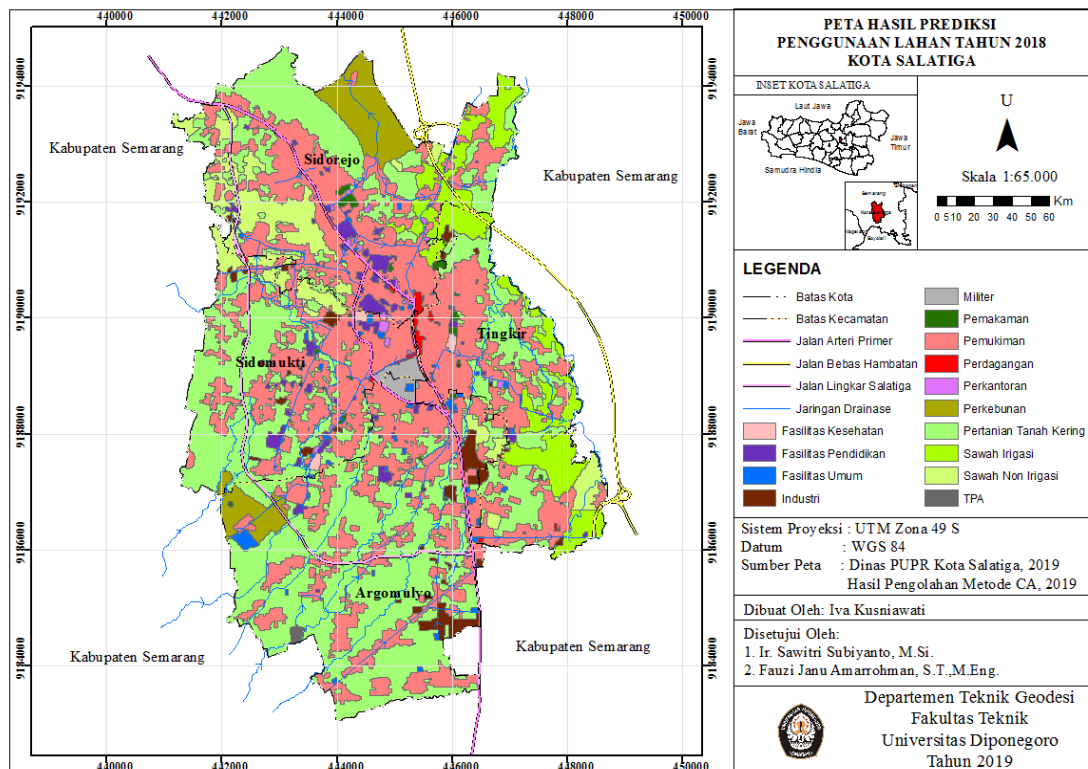


Gambar 11 Kurva Hasil Pemodelan

Grafik pada **Gambar 11** menunjukkan perbandingan antara *RMS* dan iterasi hasil pemodelan ANN dengan nilai parameter yang terbaik. Dari hasil beberapa simulasi jaringan yang dilakukan, menunjukkan bahwa variasi parameter yang berbeda sangatlah berpengaruh, khususnya *learning rate*, *hidden layer*, *momentum*, dan iterasi.

IV.3.5 Cellular Automata Simulations

Peta hasil prediksi tahun 2018 dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12 Peta Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2018

Berdasarkan **Gambar 12** dapat di lihat bahwa peta prediksi penggunaan lahan tahun 2018 masih didominasi oleh lahan pertanian, yaitu seluas 2255,88 ha. Pada tahun 2018 luas pemukiman di Kota Salatiga diprediksikan mencapai 2044,64 Ha. Luasan tersebut diprediksikan terus mengalami pertambahan, sedangkan luas industri diprediksikan mencapai 98,44

ha. Adapun penggunaan lahan hasil prediksi dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Penggunaan Lahan Hasil Prediksi (Ha).

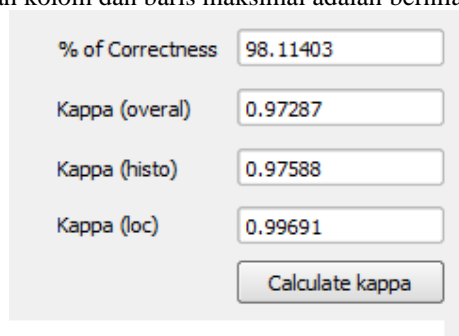
Keterangan	Hasil Pemodelan 2018	Penggunaan Lahan Eksisting 2018
Pertanian Kering	2255,88	2152,95
Pemukiman	2044,64	2080,88

Sawah Irigasi	375,88	371,38
Sawah Non Irigasi	321,72	317,01
Perkebunan	215,96	216,02
Pendidikan	101,2	109,03
Industri	98,44	139,34
Militer	38,48	38,19
Fasilitas Umum	31,96	51,48
Pemukiman	25,08	27,83
Perdagangan	22,72	25,56
Perkantoran	22,64	23,93
Fasilitas Kesehatan	15,4	17,18
TPA	5,92	5,81
Jumlah	5575,92	5576,594

Industri	11,116	11,19	2,358	0,074	Sesuai
Perkebunan	145,224	145,08	8,521	0,144	Sesuai
.....
Fasilitas Umum	1,817	1,80	0,953	0,017	Sesuai

IV.3.6 Validations

Hasil validasi dengan metode kappa disajikan pada Gambar 13. Nilai Kappa dihitung berdasarkan persamaan 1 – 6. Nilai Kappa adalah kesesuaian antara jumlah kolom dan baris maksimal adalah bernilai 1,00.



Gambar 13 Hasil Kappa

Berdasarkan Gambar 13 menunjukkan bahwa hasil validasi proyeksi ini menunjukkan bahwa nilai Kappa yang diperoleh adalah sebesar 0,972. Hasil validasi model dengan metode overlay ditampilkan pada Tabel 8, dan 9.

Tabel 8 Hasil Centroid (m).

Penggunaan Lahan	DIGITASI		PREDIKSI		ΔX	ΔY
	X Centroid	Y Centroid	X Centroid	Y Centroid		
Pemukiman	447519,1	9188369,7	447518,1	9188367,7	0,9	2
Pertanian	442019,1	9193008,3	442019,2	9193008,4	-0,1	-0,06
Industri	443096,6	9190869,5	443097,2	9190870,5	-0,5	-0,9
Perkebunan	442482,5	9186664,5	442482,3	9186663,9	0,1	0,6
.....
.....
.....
.....
RATA-RATA					-0,1	0,1
RMS/STD					3,234	

Tabel 9 Hasil Selisih Luas (Ha).

Penggunaan Lahan	Luas Digitasi	Luas Prediksi	Toleransi Luas	Selisih Luas	Ket.
Sawah Non Irigasi	6,721	11,36	1,833	4,639	Tidak Sesuai
Sawah Irigasi	76,138	76,60	6,170	0,462	Sesuai
Perdagangan	16,820	18,24	2,900	1,420	Sesuai
Pemukiman	2,785	0,56	1,180	2,225	Tidak Sesuai
Pemukiman	22,188	22,17	3,331	0,018	Sesuai
Pertanian Tanah Kering	181,881	181,02	9,536	0,861	Sesuai

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Perubahan penggunaan lahan di Kota Salatiga dari tahun 2008–2018 didominasi oleh perubahan penggunaan lahan dari lahan pertanian menjadi lahan non pertanian. Lahan pertanian mengalami penurunan sebesar 211,51 ha, pemukiman mengalami peningkatan sebesar 96,39 ha, dan industri mengalami peningkatan sebesar 77,51 ha.
2. Validitas model yang dihasilkan dari peta prediksi penggunaan lahan tahun 2018 sebesar 0,972 dengan nilai RMS yang dihasilkan sebesar 3,234 m dan 96% luas kedua peta penggunaan lahan dikatakan sesuai. Nilai ini menunjukkan bahwa pemodelan ini tergolong mempunyai kemiripan yang sangat baik terhadap kondisi eksisting penggunaan lahan tahun 2018.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Sebaiknya menggunakan faktor pendorong yang lain, seperti jarak ke pusat kegiatan, kemiringan lereng, harga tanah, curah hujan, pendapatan daerah, dan sebagainya.
2. Penelitian selanjutnya disarankan membandingkan beberapa metode pemodelan untuk mendapatkan matriks probabilitas yang tinggi sehingga metode yang paling baik dapat diketahui.
3. Penelitian selanjutnya, menggunakan data yang lebih banyak untuk validasi pemodelan, sehingga pola yang terbentuk lebih banyak dan hasil pemodelan semakin baik.

Daftar Pustaka

Adil, A. (2017). Sistem Informasi Geografis. Yogyakarta: CV. Andi OFFSET.
 Badan Pusat Statistik. (2017). Kota Salatiga Dalam Angka 2018. Kota Salatiga: BPS Kota Salatiga.
 Baja, S. (2012). Perencanaan Tata Guna Lahan Dalam Pengembangan Wilayah. Yogyakarta: CV. Andi OFFSET.
 Nuzullia, L., & Pradoto, W. (2015). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perkembangan Kawasan

- Permukiman Terencana Kota Depok. *Jurnal Teknik PWK*, 4(1), 2015.
- Parasdyo, M. M., & Susilo, B. (2012). Komparasi Akurasi Model Cellular Automata untuk Simulasi Perkembangan Lahan Terbangun dari Berbagai Variasi Matriks Probabilitas Transisi. *Masterplanning Futures*, 238–274.
- Putra, I. W. K. E., & Sriartha, I. P. (2013). Sistem Informasi Geografis Untuk Prediksi Perkembangan Fisik Kota (Studi Kasus Kota Singaraja-Bali). *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 2(3), 201.
- Ritohardoyo, S. (2013). Penggunaan Dan Tata Guna Lahan. Yogyakarta: Ombak Dua.
- Siti Hadjar Kubangun, Oteng Haridjaja, dan K. G. (2016). Model Perubahan Penutupan / Penggunaan Lahan Untuk Identifikasi Lahan Kritis Di Kabupaten Bogor , Kabupaten Cianjur , Dan Kabupaten Sukabumi. *Majalah Ilmiah Globe*, 18, 21–32.
- Subiyanto, S., & Amarrohman, F. J. (2019). Analysis of Changes Settlement and Fair Market Land Prices to Predict Physical Development Area Using Cellular Automata Markov Model and SIG in East Ungaran Distric. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 313, 012002.
- Tasha, K. (2012). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Pendekatan Artificial Neural Network. Fakultas Pertanian: Institut Pertanian Bogor, (May 2014), 75.
- Tusianto, A., Taryono, & Sigit, A. A. (2015). Evaluasi Kesesuaian Penggunaan Lahan Kota Salatiga Tahun 2010-2014 Terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Salatiga Tahun 2010-2030. Fakultas Geografi: Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1–15.
- Wijaya, M. S., & Umam, N. (2015). Pemodelan Spasial Perkembangan Fisik Perkotaan Yogyakarta Menggunakan Model Cellular Automata dan Regresi Logistik Biner. *Majalah Ilmiah Globë*, 17(2), 165–172.