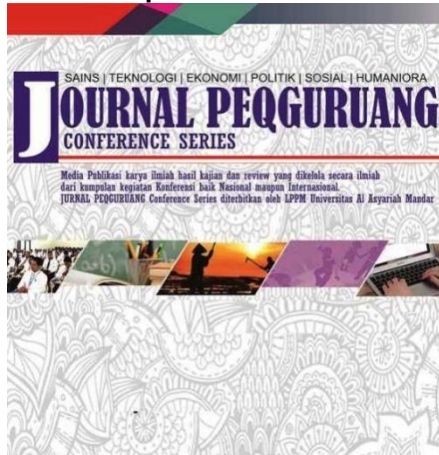


Graphical abstract



MODEL PERTUMBUHAN LAHAN TERBANGUN KOTA SEMARANG TAHUN 2023 DAN TAHUN 2028 DENGAN METODE CELLULAR AUTOMATA

^{1*}Hilmi Hilmansyah, ²Ummi Hanifah Marshush
^{1,2} Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota,
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah
Sorong

*Corresponding author
hilmi@um-sorong.ac.id

Abstract

The spatial development of a city can be predicted using spatial data, which consists of land use data extracted from multi-temporal Landsat images. The main topic of this research is remote sensing and spatial city modeling. The research objective is to simulate the growth of built-up land in Semarang City for the year 2023 and 2028. This research utilizes Landsat 5 TM images from 1998, Landsat 7 ETM+ images from 2003 and 2013, as well as Landsat 8 OLI images from 2018. The method used to extract land use is guided classification using ENVI 5.1 software. The results of this extraction are used for analyzing the modeling of built-up land growth in 2023 and 2028 using the Cellular Automata method, following a trend principle without considering driving and limiting factors. The modeling process is conducted using Terrset Geospatial Monitoring and Modeling System software. The model simulation results for the year 2023 indicate a change in built-up land cells of 85,000 cells or 8,200 hectares, and for the year 2028, it shows 100,000 cells or 9,500 hectares of change.

Keywords: *Spatial Data, Remote Sensing, Landsat Images, Cellular Automata*

Abstrak

Perkembangan spasial suatu kota dapat diprediksi dengan menggunakan data spasial, yang terdiri dari data penggunaan lahan yang diambil dari citra Landsat multi-temporal. Topik utama penelitian ini adalah penginderaan jauh dan pemodelan spasial kota. Tujuan penelitian adalah melakukan simulasi pertumbuhan lahan terbangun di Kota Semarang pada tahun 2023 dan 2028. Penelitian ini menggunakan citra Landsat 5 TM tahun 1998, citra Landsat 7 ETM+ tahun 2003 dan 2013, serta citra Landsat 8 OLI tahun 2003 dan 2013. 2018. Metode yang digunakan untuk mengekstraksi penggunaan lahan adalah klasifikasi terbimbing dengan menggunakan software ENVI 5.1. Hasil ekstraksi ini digunakan untuk menganalisis pemodelan pertumbuhan lahan terbangun pada tahun 2023 dan 2028 menggunakan metode Cellular Automata, mengikuti prinsip tren tanpa mempertimbangkan faktor pendorong dan pembatas. Proses pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Terrset Geospatial Monitoring and Modeling System. Hasil simulasi model tahun 2023 menunjukkan adanya perubahan sel lahan terbangun sebanyak 85.000 sel atau seluas 8.200 hektar, dan untuk tahun 2028 menunjukkan perubahan sebesar 100.000 sel atau 9.500 hektar.

Kata kunci: *Data Spasial, Penginderaan Jauh, Pemodelan Penggunaan Lahan, Citra Landsat, Cellular Automata*

Article history

DOI: [10.35329/jp.v5i2.4852](https://doi.org/10.35329/jp.v5i2.4852)

Received : 03/11/2023 | Received in revised form : 27/11/2023 | Accepted :27/11/2023

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kota menjadi perhatian penting terutama perubahan lanskap lahan (Pratomoatmojo, 2018). Perubahan lanskap dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk mengakibatkan lahan terbangun menjadi bertumbuh. Pertumbuhan mengakibatkan perubahan lahan (Fariz dan Nurhidayati, 2020). Kota Semarang memiliki potensi dalam perubahan lahan terbangun khususnya akses jalan dan permukiman.

Kota Semarang memiliki akses Jalan Tol melingkar dari ujung barat (Krapyak) menuju kearah selatan (Jatingaleh) melalui kawasan terluar sampai ke ujung timur Kota Semarang membentuk pola $\frac{1}{2}$ (setengah) cincin mengelilingi Kota Semarang. Jalan Tol Semarang ini memiliki peran penting bagi pertumbuhan Kota Semarang, setelah dibukanya akses Jalan Tol Semarang pada tahun 1998 muncul Kawasan industri disekitar kawasan exit tol bagian barat (Kawasan Industri Wijaya Kusuma, Kec. Tugu), exit tol selatan (Kawasan Industri Candi) dan exit tol timur (Kawasan Industri Terboyo, Kec. Genuk).

Pertumbuhan lahan terbangun di Kota Semarang mengindikasikan adanya peran dari pembukaan akses Jalan Tol. Indikasi tersebut melihat dari potensi pertumbuhan lahan terbangun yang terjadi pada setiap tahunnya. Pertumbuhan lahan terbangun di Kota Semarang dari awal dibukanya akses Jalan Tol pada tahun 1998 sampai tahun 2018 adalah sekitar 6.000 ha. Jika di-breakdown sampai ke unit Kecamatan pertumbuhan paling pesat berada di 5 (lima) Kecamatan (Ngaliyan, Banyumanik, Tembalang, Genuk, dan Pedurungan). Jika dilihat lagi secara makro Kota Semarang, 5 (lima) kecamatan tersebut merupakan kawasan yang dilalui oleh Jalan Tol Semarang.

Indikasi kedua adalah pertumbuhan penduduk di Kota Semarang yang meningkat dari tahun 2000 sampai tahun 2017 sebesar 394.885 jiwa, peningkatan paling pesat berada pada 5 (lima) Kecamatan diatas. Sama halnya dengan pertumbuhan lahan terbangun yang diindikasikan

dampak dari dibukanya akses Jalan Tol Semarang, pertumbuhan penduduk menunjukkan hasil yang relevan / sama dengan sektor lahan tersebut.

Indikasi ketiga adalah dari sektor ekonomi, dilihat dari peningkatan PDRB di sektor industri, konstruksi dan sektro real estate. Pertumbuhan paling pesat adalah di sektor industry sebesar 12 %, kemudian sektor konstruksi sebesar 9 %, dan sektor real estate sebesar 5 % dari total PDRB Kota Semarang tahun 2016 sebesar 115.298.166.86 (juta rupiah). Jika dibandingkan dengan sektor-sektor lainnya dibawah rata-rata 0,5 %.

Persebaran titik Exit Tol di Kota Semarang ini memiliki potensi besar untuk dapat berkembang lebih pesat lagi menempati lahan-lahan tidak terbangun, dan berpotensi untuk menempati lahan dengan fungsi kawasan sebagai kawasan lindung. Proyeksi pertumbuhan penduduk merupakan tools paling utama yang digunakan dalam menyusun dokumen rencana tata ruang, data yang digunakan adalah data statistik yang dispasialkan menjadi peta rencana pola ruang. Jika diinterpretasikan kedalam bentuk peta tools untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan tidak cukup relevan dari tingkat validitas dan akurasi dalam menentukan kawasan-kawasan yang ada dalam peta rencana pola ruang karena mengingat pertumbuhan lahan terbangun yang sulit untuk diprediksi.

Prediksi perubahan lahan terbangun dapat menggunakan metode Cellular Automata. Metode ini cukup representative dalam memprediksi penggunaan lahan terbangun (Rizkiyanto et al., 2020). Cellular Automata merupakan sebuah alat permodelan spasial yang kuat yang banyak digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks (Lesmana et. al., 2021). Secara sederhana, automaton (bentuk tunggal automata) adalah kemampuan untuk berubah berdasarkan sekumpulan aturan-aturan yang diterapkan pada dirinya sendiri (objek) dan juga berbagai masukan dari luar (Sukanto dan Buchori, 2018).

Melihat teknologi di bidang Sistem Informasi Geografis yang semakin berkembang,

pertumbuhan lahan terbangun secara spasial dapat diprediksi dengan menggunakan metode permodelan. Model Cellular Automata merupakan salah satu model spasial yang mampu memprediksi perubahan tutupan lahan/penggunaan lahan, sehingga dalam penggunaannya memungkinkan untuk memprediksi pertumbuhan lahan terbangun.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan prediksi perubahan tutupan lahan menggunakan metode Cellular Automata tahun 2023 dan tahun 2028 dengan model trend dari tahun 1998 sampai 2018 (5 tahunan).

Hasil dari penelitian ini adalah untuk menjadi masukan dan rekomendasi kepada pemerintah daerah Kota Semarang dalam proses perencanaan wilayah dan kota sebab menurut (Yunus, 1982) pembangunan yang diterapkan terhadap suatu kawasan harus berdasarkan potensi dan kondisi yang dimiliki suatu wilayah, harus sesuai dengan kapabilitas, kesesuaian dan daya dukung lahan, maka diharapkan hasil produksi dan tingkat produktivitas akan lebih tinggi, yang berarti tingkat keberhasilan yang dicapai adalah optimum atau mencapai tingkat optimalitas.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kota Semarang, jenis penelitian adalah penelitian spasial yang fokus pada 2 (dua) topik yaitu perubahan penggunaan lahan dan penginderaan jauh. Metode yang digunakan adalah metode analisis spasial / pemodelan pertumbuhan penggunaan lahan tahun 2023 dan tahun 2028 dengan variabel ekstraksi citra multitemporal dari tahun 1998 sampai dengan tahun 2018. Metode ekstraksi citra multitemporal untuk menghasilkan informasi mengenai Pertumbuhan Lahan Terbangun Kota Semarang Tahun 2023 dan Tahun 2028.

Data yang dikumpulkan adalah data raster berupa citra landsat multitemporal (Landsat 5 TM tahun 1998, landsat 7 ETM+ tahun landsat 7 ETM+ tahun 2003, landsat 7 ETM+ tahun 2008, landsat 7 ETM+ tahun 2013, landsat 8 OLI tahun 2018) diunduh dari situs

(<https://earthexplorer.usgs.gov>) zona Kota Semarang yaitu type WRS2 path: 121 row: 65.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengolahan Data Citra Landsat

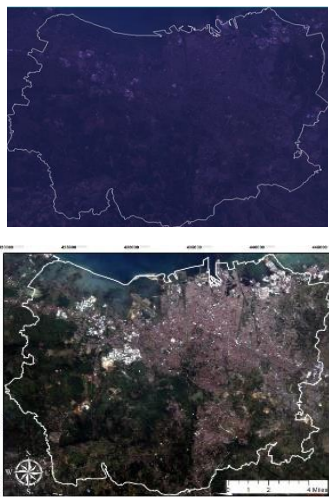
Citra Landsat diperoleh dari website <https://earthexplorer.usgs.gov>, Kota Semarang masuk dalam zona WRS2 dengan kode path 120 dan kode row 65. Citra Landsat yang digunakan di dalam penelitian adalah citra Landsat 5 tahun 1998, landsat 7 tahun 2003 2008 2013 dan Landsat 8 tahun 2018. Spesifikasi citra Landsat 5 tahun 1998 antara lain sensor Thematic Mapper (TM), 8 bit, perekaman pada bulan tanggal 06 September 1998, kemudian spesifikasi pada ada dalam citra Landsat 7 antara lain sensor ETM+ 8 BIT, perekaman pada tahun 2003 adalah tanggal 20 Mei 2003, tahun 2008 pada tanggal 20 Juli 2008, tahun 2013 pada tanggal 23 November 2013, sedangkan spesifikasi citra Landsat 8 tahun 2018 memiliki sensor OLI dan TIR, 16 bit, dan perekaman pada tanggal 24 Juli tahun 2018. Berdasarkan spesifikasi tersebut, terdapat beberapa perbedaan dari segi sensor, bit dan informasi temporal.

Nilai-nilai pantulan spektral objek pada citra tidaklah sesuai dengan yang sebenarnya, sehingga menghendaki perbaikan melalui koreksi radiometrik akibat pengaruh atmosferik. Gangguan atmosferik dapat menyebabkan peningkatan atau pengurangan nilai obyek yang direkam. Oleh karena itu, koreksi radiometrik diharapkan mampu memperbaiki kualitas nilai piksel citra penginderaan jauh yang disebabkan oleh adanya gangguan atmosferik. Kemudian ketelitian citra secara geometrik perlu dilakukan dengan menggunakan metode Ground Check Point (GCP) berguna untuk memperbaiki nilai error RMS yang ada pada citra Landsat tersebut.

(a) Koreksi Radiometrik

Untuk hasil kalibrasi pantulan radiometric dapat dilihat pada Gambar 1 (b) dan dapat dibandingkan hasilnya dengan citra sebelum dilakukan kalibrasi (lihat gambar 1 (a)). Warna

yang terlihat pada citra Landsat tersebut jelas berbeda, sebelum dilakukan kalibrasi warna terlihat lebih buram dan tidak dapat dilihat secara jelas untuk dapat membedakan objek-objek yang terdapat di dalam citra Landsat tersebut.



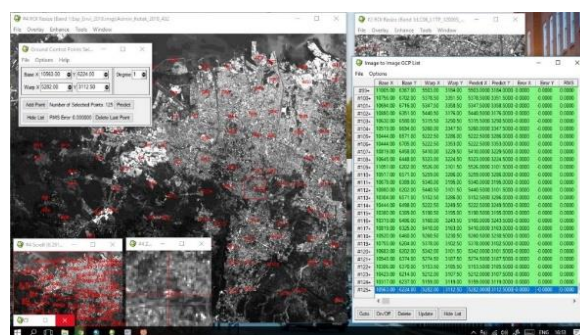
Gambar 1. (a) Citra Satelit Landsat Sebelum Terkoreksi, (b) Citra Satelit Landsat Terkoreksi Radiometrik

(b) Koreksi Geometrik

Metode yang digunakan untuk mengukur kualitas geometri adalah image to image. Koreksi geometris dilakukan secara bertahap yaitu pertama koreksi geometris citra Landsat 1998 mengacu posisi citra Landsat 2003, artinya citra terkoreksi menggunakan metode overlay yang menghilangkan efek perspektif pada permukaan.. Selanjutnya koreksi geometris citra Landsat 2008 mengacu citra Landsat tahun 2013. Selanjutnya citra landsat 2013 mengacu pada citra landsat tahun 2018 Hasil perhitungan cek geometri Landsat 8 Tahun 2018 menggunakan metode transformasi polynomial 1, 125 GCPs (Ground Control Points) dan resampling nearest neighbour. Beberapa yang menjadi pertimbangan pemilihan metode transformasi polynomial adalah (1) kondisi topografi wilayah penelitian relatif datar, yaitu antara 0-10 meter, sehingga distribusi titik GCPs minimal 7.

Kualitas kenampakan objek di citra, distribusi persebaran GCP di citra Landsat 8 tahun

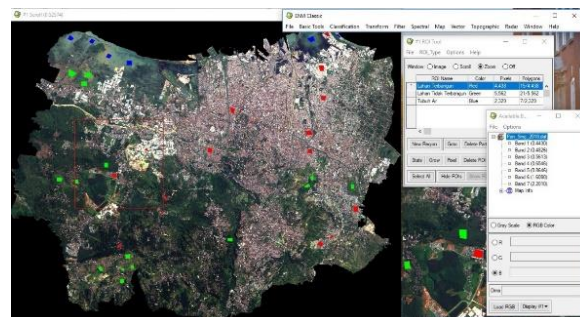
2018 relatif jelas, sehingga lebih memudahkan dalam penentuan lokasi GCPs. Hasil pengolahan koreksi geometris untuk citra Landsat lainnya dengan rujukan data citra Landsat 8 yang sudah terkoreksi menghasilkan RMS error 0,00008 piksel. Nilai RMS error tersebut, sudah memenuhi kelayakan uji geometris. Nilai RMS error tersebut, menunjukkan kualitas geometrik citra Landsat 8 tahun 2018 sudah layak secara geometris untuk dilakukan analisis lebih lanjut. Hasil kualitas geometris citra Landsat 8 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Persebaran Titik GCP (*Ground Control Point*)

(c) Interpretasi Visual

Interpretasi secara terbimbing merupakan penentuan objek berdasarkan kemampuan interpreter dalam membaca warna dan rona yang Nampak pada citra Landsat. Berikut adalah titik-titik sampel yang membagi atas 3 kelas, pertama kelas lahan terbangun, kedua kelas lahan tidak terbangun, dan ketiga kelas badan air. Berikut adalah gambar dari citra yang diidentifikasi secara visual.



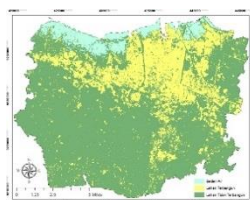
Gambar 3. Persebaran Titik Sampel untuk Proses Klasifikasi

(d) Klasifikasi Citra Landsat

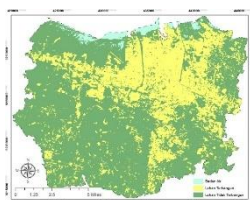
Setelah dilakukan interpretasi secara visual tersebut maka mulai proses penentuan titik sampel untuk dapat menghasilkan klasifikasi penggunaan lahan secara otomatis oleh system dalam aplikasi Envi, menggunakan metode klasifikasi terbimbing. Terdapat 3 (tiga) sampel yang menginterpretasikan penggunaan lahan, titik sampel pertama (15 sampel) adalah kelas penggunaan lahan terbangun ditandai dengan warna merah yang ada di gambar 3, sedangkan kelas penggunaan lahan tidak terbangun (21 sampel) ditandai dengan warna hijau, dan kelas penggunaan lahan badan air (7 sampel) ditandai dengan warna biru.

Proses selanjutnya adalah memilih menu classification pada software envi > supervised > Maximum Likelihood. Setelah itu memasukan semua sampel yang suda dibuat diatas dan mulai proses klasifikasi. Hasil dari klasifikasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.

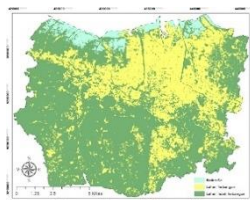
Tahun 1998



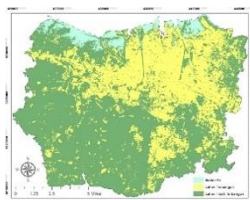
Tahun 2003



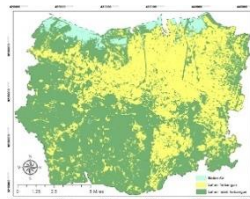
Tahun 2008



Tahun 2013



Tahun 2018



Gambar 4. Hasil Klasifikasi Citra Landsat Multitemporal

(e) Kuantitas Perkembangan kota

Analisis perubahan perkembangan Kota Semarang pada tahun 1998 sampai dengan tahun 2018 menggunakan metode pengukuran luas lahan di software Arc Gis. Hasil pengukuran tersebut ditampilkan secara series sehingga pertumbuhan tiap tahunnya dapat terlihat. Berikut adalah perubahan penggunaan lahan Kota Semarang dari tahun 1998 ke tahun 2018. (Tabel 1).

Tabel 1. Kuantitas Perubahan Penggunaan Lahan

No	Penutupan Lahan	Luas (Ha)				
		1998	2003	2008	2013	2018
1	Lahan Terbangun	9.547	12.706	13.099	13.613	15.856
2	Lahan Tidak Terbangun	27.357	25.628	24.344	23.969	21.857
3	Badan Air	2.211	780	1.671	1.535	1.403

Perkembangan lahan terbangun Kota Semarang dalam periode 1998-2018 menunjukkan trend positif atau naik. Hal ini menunjukkan area terbangun Kota Semarang dalam periode bertambah luasan. Luasan lahan bukan terbangun menunjukkan trend menurun yang menunjukkan terjadi pengurangan luasan area bukan terbangun Secara statistik.

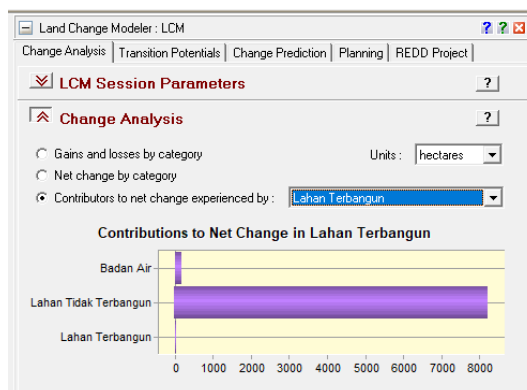
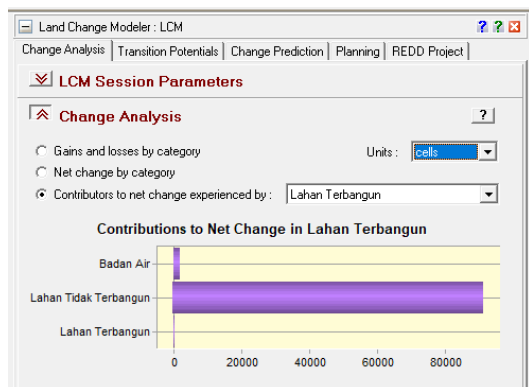


Gambar 5. Grafik Perubahan Penggunaan Lahan

2. Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2023 dan Tahun 2028 di Kota Semarang

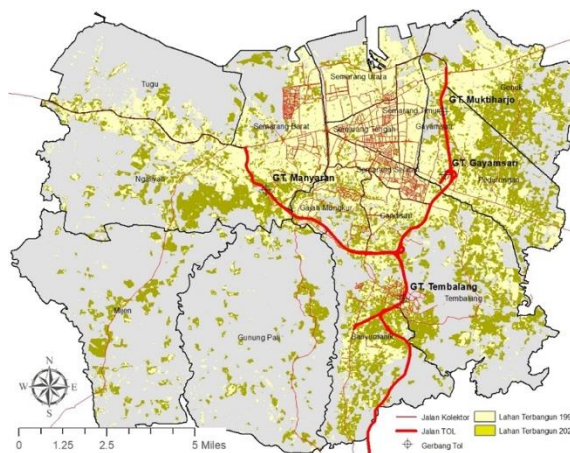
a. Tahun 2023

Perubahan cells penggunaan lahan ke lahan terbangun menunjukkan dari tahun 1998 ke tahun 2023 adalah sebesar 85.000 cells (Gambar 5.30) (a), dan Perubahan luas (Ha) penggunaan lahan ke lahan terbangun adalah sebesar 8.565 Ha (Gambar 5.30) (b). Untuk melihat visualisasi peta perubahan tiap cells yang ada di setiap titik Gerbang Tol dapat dilihat pada (Gambar 7) Peta Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang Tahun 1998 dan Tahun 2023 di Area Sekitar Gerbang Tol Kota Semarang.



Sumber : Hasil Analisis Penulis, 2018

Gambar 6. (a) Jumlah Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang, (b) Pertumbuhan Hectares Lahan Terbangun Kota Semarang



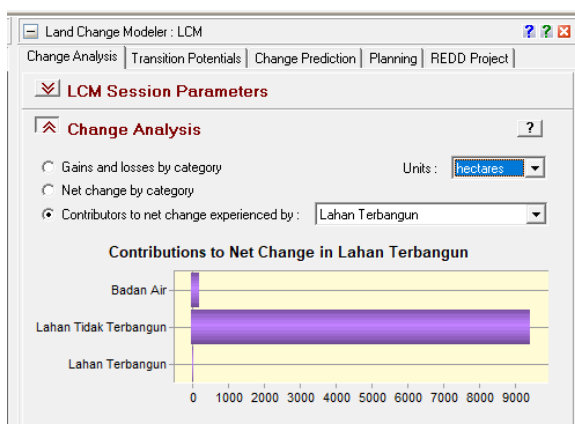
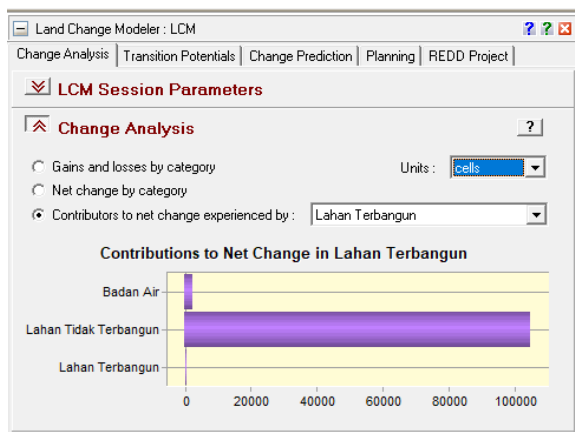
Sumber : Hasil Analisis Penulis, 2018

Gambar 7. Peta Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang Tahun 1998 dan Tahun 2023 di Area Sekitar Gerbang Tol Kota Semarang

b. Tahun 2028

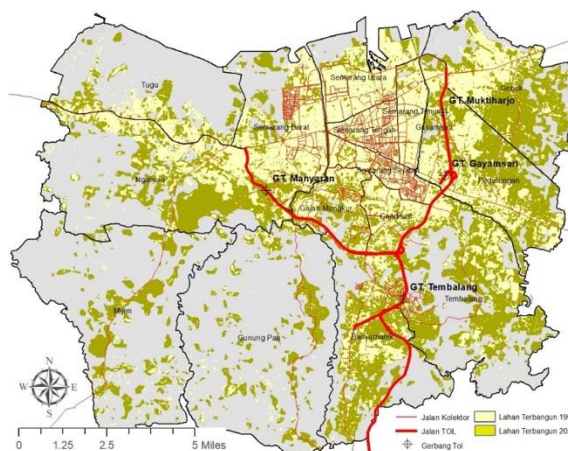
Perubahan cells penggunaan lahan ke lahan terbangun menunjukkan dari tahun 1998 ke tahun 2028 adalah sebesar 100.000 cells (Gambar 5.35) (a), dan Perubahan luas (Ha) penggunaan lahan ke lahan terbangun adalah sebesar 9.825 Ha (Gambar 5.35) (b). Untuk melihat visualisasi peta perubahan tiap cells yang ada di setiap titik Gerbang Tol dapat dilihat pada (Gambar 9) Peta

Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang Tahun 1998 dan Tahun 2028 di Area Sekitar Gerbang Tol Kota Semarang.



Sumber : Hasil Analisis Penulis, 2018

Gambar 8. Jumlah Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang (a) Lahan Tidak Terbangun ke Lahan Terbangun, (b) Badan Air ke Lahan Terbangun



Sumber : Hasil Analisis Penulis, 2018

Gambar 9. Peta Pertumbuhan Cells Lahan Terbangun Kota Semarang Tahun 1998 dan Tahun 2028 di Area Sekitar Gerbang Tol Kota Semarang

4. HASIL

Melalui beberapa proses pengolahan citra (koreksi radiometric, koreksi geometri) dihasilkan peta penggunaan lahan Kota Semarang secara time series dari tahun 1998, 2003, 2013, 2018 menggunakan metode klasifikasi terbimbing (supervised classification) hasil dari ekstraksi citra Landsat 5, Landsat 7, dan Landsat 8. Kuantitas penggunaan lahan tersebut adalah sebagai berikut :

- Penggunaan Lahan tahun 1998 pada lahan terbangun sebesar 9.547 ha, lahan tidak terbangun 27.357 ha, dan badan air sebesar 2.211 ha.
- Penggunaan lahan tahun 2003 pada lahan terbangun sebesar 12.706 ha, lahan tidak terbangun 25.628 ha, dan badan air sebesar 2.211 ha.
- Penggunaan lahan tahun 2008 pada lahan terbangun sebesar 13.988 ha, lahan tidak terbangun 24.344 ha, dan badan air sebesar 780 ha.
- Penggunaan lahan tahun 2013 pada lahan terbangun sebesar 13.613 ha, lahan tidak

terbangun 23.969 ha, dan badan air sebesar 1.403 ha.

Simulasi model dilakukan untuk melihat prediksi penggunaan lahan tahun 2023 dan penggunaan lahan tahun 2028 dengan menggunakan data eksisting tahun 1998 dan tahun 2003. Hasil dari model penggunaan lahan tahun 2023 (5 tahun) menunjukkan nilai probabilitas perubahan ke lahan terbangun adalah sebesar 0.7945. Perubahan nilai cells dari tahun 1998 ke tahun 2023 adalah sebesar 85.000 cells atau sekitar 8.565 Ha. Kedua dilakukan simulasi model untuk memprediksi penggunaan lahan tahun 2028 (10 tahun), hasil dari model penggunaan lahan tahun 2028 (10 tahun) menunjukkan nilai probabilitas perubahan ke lahan terbangun adalah sebesar 0.7497. Perubahan nilai cells dari tahun 1998 ke tahun 2028 adalah sebesar 100.000 cells atau sekitar 9825 Ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Citra Satelit Landsat 5 Tahun 1998, diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 01 Juni 2018.
- Citra Satelit Landsat 7 Tahun 2003, diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 01 Juni 2018.
- Citra Satelit Landsat 7 Tahun 2008, diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 01 Juni 2018.
- Citra Satelit Landsat 7 Tahun 2013, diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 01 Juni 2018.
- Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2018, diperoleh melalui situs internet: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Diunduh pada tanggal 01 Juni 2018.
- ENVI. 2004. ENVI User's Guide. U.S : ENVI Inc., U.S.
- Fariz, Trida Ridho dan Ely Nurhidayati, 2020. Perbandingan Kemampuan Teknik Cellular Automata Dalam Memprediksi Pertumbuhan Spasial Lahan Terbangun di Kota Pontianak. PLANO MADANI Volume 9 Nomor 1 April 2020, 29-40
- Lesmana, Arya Danih, Sucahyanto, dan Ilham B Mataburu, 2021. Prediksi Perkembangan Lahan Terbangun di Jabodetabek hingga Tahun 2030 menggunakan Artificial Neural Network dan Cellular Automata. Spatial : Wahana Komunikasi dan Informasi Geografi Pratomoatmojo, Nursakti Adhi, 2018. Permodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata dan Sistem Informasi Geografis dengan Menggunakan LanduseSim. Jurnal Penataan Ruang Vol. 13, No. 1, (2018) ISSN: 2716-179X
- Rizkyanto, Irfan R, Tjaturahono Budi Sanjoto, Moch. Arifien, 2020. Prediksi Perkembangan Lahan Terbangun Kota Pekalongan Dengan Model Cellular Automata Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Geo Image (Spatial-Ecological-Regional). ISSN 2252-6285
- Sukanto dan Imam Buchori, 2018. Model Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan Kawasan Koridor Jalan Utama Berbasis Cellular Automata dan SIG. Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota Vol 14, No 4, 2018, 307-322
- Yunus,H, Sabari. 1982. Klasifikasi Pemukiman Kota (Tinjauan Makro). Yogyakarta: Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.