

Pemodelan Proyeksi Penggunaan Lahan Berbasis GIS-CA Menggunakan LanduseSim di Kecamatan Mapanget, Kota Manado

Rieneke Sela ¹, Andy Malik ², Sony Tilaar ³

¹ Lab Perencanaan Wilayah dan Kota/Perumahan dan Kawasan Permukiman, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.

² Lab Perencanaan dan Perancangan Kota/Perencanaan dan Perancangan Kota, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.

³ Lab Tata Ruang dan Informasi Geospasial/Tata Ruang dan GIS, Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi.

Email korespondensi: rienekesela@unsrat.ac.id

Abstrak

Studi terkait pemodelan perubahan penggunaan lahan telah menjadi terobosan penting untuk memahami *trend* spasial dan temporal dalam rangka melindungi sumber daya lahan secara berkelanjutan. Kecamatan Mapanget menjadi salah satu arahan dalam rencana pengembangan kota baru yang berfokus pada perkembangan pusat permukiman baru yang berada di pinggiran Kota Manado. Untuk mengantisipasi dampak negatif yang tidak terkontrol pada daerah pinggiran kota, maka diperlukan sebuah proyeksi perubahan lahan memanfaatkan sistem penginderaan jauh. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah melakukan proyeksi perubahan lahan selama 20 tahun sejak tahun 2022 hingga 2042 di Kecamatan Mapanget. Pendekatan penelitian kuantitatif dengan metode analisis spasial berbasis *Geography Information System-Cellular Automata* (GIS-CA) dan analisis pembobotan teknik *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Proses simulasi menggunakan *software* Arcmap 10.8, QGIS, *Expert-SA* dan LanduseSim 2.3.1. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa akan terjadi perubahan penggunaan lahan pada kawasan permukiman sebesar 1956,75 Ha atau meningkat 201% yang disebabkan oleh faktor pendorong dengan bobot terbesar yaitu kedekatan dengan permukiman eksisting di Kecamatan Mapanget.

Kata-kunci : *analytic hierarchy process, cellular automata, LanduseSim, Kota Baru, penggunaan lahan*

Pengantar

Di seluruh dunia, khususnya di negara-negara berkembang, perubahan penggunaan lahan dengan skala besar sebagian besar umum telah terjadi dalam beberapa dekade terakhir (Girma et al., 2022). Perubahan penggunaan lahan khususnya kawasan permukiman memiliki implikasi yang cukup serius bagi lingkungan karena perubahan penggunaan lahan secara langsung berkaitan dengan adanya degradasi lahan selama periode waktu tertentu dan menyebabkan banyak terjadinya perubahan lingkungan. Perubahan penggunaan lahan pada suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor pendorong dengan mempertimbangkan zona pembatas (*constraint*) (Pratomoatmojo, 2018).

Pemantauan dan mitigasi konsekuensi negatif dari perubahan penggunaan lahan sekaligus mempertahankan produksi sumber daya penting, telah menjadi prioritas utama bagi para peneliti dan

pembuatan kebijakan di seluruh dunia (Ansari & Golabi, 2019). Transformasi terhadap penggunaan lahan merupakan salah satu aspek terpenting dalam perencanaan tata ruang yang komprehensif. Arahan penggunaan lahan akan digunakan sebagai dasar dalam menghasilkan zonasi kebijakan untuk memastikan keberlanjutan pembangunan perkotaan di masa depan.

Jumlah penduduk Kecamatan Mapanget berdasarkan BPS Kota Manado pada tahun 2018 sebesar 54.926 jiwa, sedangkan di tahun 2023 mengalami peningkatan hingga mencapai 64.380 jiwa. Dengan adanya penambahan jumlah penduduk maka akan terjadi perubahan penggunaan lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang bermukim.

Perubahan penggunaan lahan yang semakin pesat terjadi di Kecamatan Mapanget ini dipengaruhi oleh perkembangan pusat-pusat kegiatan, yang tidak lagi berfokus di kawasan perkotaan. Kondisi ini disebabkan sudah tidak tersedianya lahan kosong pada daerah tersebut, namun telah berkembang ke arah pinggiran kota. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi di Kecamatan Mapanget juga didukung dengan adanya rencana pengembangan kota baru yang ada di Kota Manado. Berdasarkan SK Walikota No.128/Kep/B.01/BAPELITBANG/2017 mengenai penetapan deliniasi Kota Baru Manado, bahwa pengembangan Kota Baru Manado akan diarahkan di Kecamatan Mapanget. Pembangunan Kota Baru ini berfokus pada pengembangan pusat permukiman baru yang layak huni yang didukung oleh fasilitas ekonomi dan sosial budaya guna mencegah terjadinya permukiman tidak terkendali akibat urbanisasi di kota otonom terdekatnya (Ngangi, 2018).

Rencana pengembangan Kota Baru ini akan berpotensi perubahan penggunaan lahan khususnya permukiman yang signifikan, sehingga perlu dilakukan proyeksi secara spasial melalui *Geography Information System* atau disingkat GIS di Kecamatan Mapanget. Beberapa studi telah dikaji dengan pendekatan spasial yang menunjukkan bahwa *land use cover change and land use intensity change* dapat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan perkotaan (Rimal et al., 2018). Selanjutnya untuk meningkatkan ketelitian maka pemodelan perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan dengan mengkombinasi *Cellular Automata (CA)* (Gharaibeh et al., 2020) berbasis tren dengan pengembangan berbasis skenario.

Adapun beberapa hasil *review* penelitian yang memproyeksi terkait perubahan penggunaan lahan dengan proses simulasi LanduseSim, seperti *prediction of spatio-temporal urban growth trends* (Khan & Sudheer, 2022), pemodelan pertumbuhan lahan terbangun sebagai proyeksi terhadap lahan pertanian di Kabupaten Karanganyar (Syafitri & Susetyo, 2019), simulasi akibat pembangunan kawasan industri (Sadewo & Buchori, 2018), dan proyeksi penggunaan lahan dengan CA di Kota Mataram (Putra & Rudiarto, 2018).

Berdasarkan potensi perkembangan dan penelitian yang telah ada maka tujuan penelitian ini yaitu akan melakukan proyeksi perubahan lahan di Kecamatan Mapanget yang dilakukan dengan pendekatan spasial berbasis LanduseSim-CA selama 20 tahun sejak tahun 2022 hingga tahun 2042. Semakin baik memperkirakan transformasi penggunaan lahan 20 tahun kedepan, maka semakin baik pula meminimalisir dampak yang akan terjadi di daerah tersebut.

Metode

Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk memproyeksi perubahan lahan di Kecamatan Mapanget terdiri atas data primer dan data sekunder. Metode pengumpulan data sekunder diperoleh dari instansi terkait maupun dokumen sektoral yang tersedia. Pengumpulan data berupa peta dan kondisi penggunaan lahan bersumber dari dokumen RTRW Kota Manado. Metode pengumpulan data primer dilakukan dengan

pengamatan secara langsung di Kecamatan Mapanget dan sebaran kuesioner kepada *stakeholder* terkait untuk menentukan bobot faktor pendorong dan faktor penghambat. Sedangkan data untuk variabel penelitian berupa faktor pendorong (*driving factors*) dan faktor penghambat (*constraint variable*) didapatkan berdasarkan hasil penelusuran pustaka dan survey kondisi lapangan. Hasil penelusuran pustaka untuk variabel penelitian yang digunakan sebagai *driving factors* dan *constraint variable* berdasarkan aspek biofisik, sosial, ekonomi, regulasi tata ruang serta interaksi keruangan dan karakteristik penggunaan lahan sekitarnya (Wahyudi & Liu, 2016)

Analisis Data

Model proyeksi perubahan penggunaan lahan dibangun dengan pendekatan *Cellular Automata* (CA) yang memperhitungkan bobot faktor pendorong dan penghambat. Keterbatasan model CA, yaitu kelemahan pada aspek kuantitatif dan ketidak mampuan untuk memasukkan kekuatan pendorong pertumbuhan perkotaan. Oleh karena itu, dalam proses simulasi, dapat diminimalkan dengan mengintegrasikan dengan model kuantitatif lainnya, seperti melalui *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Model AHP merupakan metode yang mendukung dalam proses simulasi LanduseSim-CA yang diperkenalkan oleh Thomas L. Saaty (Fitawok et al., 2020).

Model keputusan ini dapat menguraikan berbagai masalah dalam bentuk multi faktor atau multi kriteria secara kompleks sehingga terbentuk suatu hirarki (Yannis et al., 2020). Melalui teknik AHP dapat diketahui bobot variabel yang berpengaruh terhadap alih fungsi lahan dan tingkat pengaruhnya berdasarkan hasil skor setiap variabel. Proses selanjutnya yaitu dengan mentransformasikan melalui simulasi dengan pendekatan CA, sehingga dapat diketahui proyeksi perubahan lahan (Kafy et al., 2021).

Dalam analisis CA ini dilakukan proses simulasi menggunakan *software* LanduseSim. Proses ini dibuat atas dasar ketetangaan dengan diawali proses peta yang dimasukkan sebagai *initial transition map*. Proses ini akan menghasilkan *transition potential map* dengan teknik *overlay*. Peta *initial transition map* merupakan hasil proses *weighted overlay* dan pendekatan *spatial multi criteria evaluation* berdasarkan peta kesesuaian (Noviani et al., 2023). Kelebihan LanduseSim-CA untuk simulasi penggunaan lahan yang belum dijelaskan sebelumnya adalah mampu mengakomodasi pendekatan *top-down* dan *bottom-up* dalam perencanaan spasial (Sumarmi et al., 2021). Analisis implementasi pemodelan perubahan penggunaan lahan LanduseSim-CA di Kecamatan Mapanget melalui 3 fase, yaitu fase persiapan data, fase simulasi, serta fase visualisasi.

Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis Faktor-Faktor Pendorong

Dalam pemodelan penggunaan lahan perlu diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan suatu penggunaan lahan tertentu. Adanya interaksi berbagai faktor tersebut akan menjadi tantangan dengan tingkat kesulitan dalam mengidentifikasi dan evaluasi perubahan penggunaan lahan. Menurut Dendoncker, N., Rounsevell, M., & Bogaert, P. terdapat 6 faktor utama yang berpengaruh dalam perubahan penggunaan lahan, yaitu: 1) Faktor biofisik; 2) Faktor sosial ekonomi; 3) Faktor sarana dan prasarana; 4) Aksesibilitas; 5) Ketetangaan (kedekatan dengan lahan terbangun eksisting); 6) Kebijakan tata ruang (Sadewo & Buchori, 2018). Penetapan *driven factors* untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan dan pembobotan di Kecamatan Mapanget dilakukan berdasarkan kesepakatan bersama dengan para *stakeholder*. *Stakeholder* yang sudah ditetapkan sebagai sampel atau yang mewakili yaitu dari Bapeltbang Kota Manado, Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kota Manado, Pemerintah Kecamatan Mapanget, akademisi dan tokoh masyarakat di wilayah Kecamatan Mapanget.

Penetapan variable pendorong yang digunakan dalam analisis ini berupa faktor sarana dan prasarana (jaringan jalan arteri, jaringan jalan kolektor, fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan, jaringan air, dan jaringan listrik); faktor ketetanggaan (kawasan perkantoran dan kawasan perdagangan dan jasa); faktor aksesibilitas (sarana transportasi dan permukiman eksisting). Berikut merupakan hasil pembobotan yang telah diolah dari hasil kuesioner dan kesepakatan bersama *stakeholder* terkait metode AHP melalui aplikasi *Expert-SA*. Nilai pembobotan yang mempengaruhi pertumbuhan lahan terbangun dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Penetapan Variabel sebagai Faktor Pendorong

No	Faktor Pendukung	Bobot
1	Jalan Arteri	0.1287
2	Jalan Kolektor	0.1457
3	Kawasan Perkantoran	0.0539
4	Kawasan Perdagangan dan Jasa	0.1058
5	Sarana Transportasi	0.1098
6	Sarana Kesehatan	0.0419
7	Sarana Pendidikan	0.0399
8	Jaringan Air	0.1078
9	Jaringan Listrik	0.1168
10	Permukiman Eksisting	0.1497
Total		1

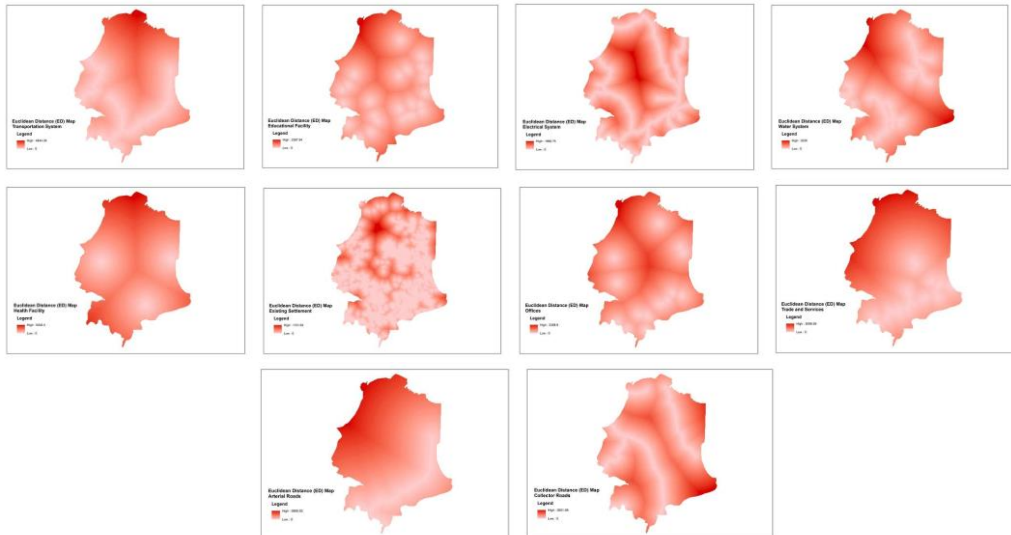
Hasil pembobotan menunjukkan bahwa kedekatan atau ketersediaan permukiman eksisting, jaringan jalan kolektor dan arteri, dan jaringan listrik adalah bobot yang paling tinggi dalam mempengaruhi pertumbuhan lahan. Jumlah keseluruhan dalam pembobotan berjumlah total 1. Hasil pengolahan metode AHP menunjukkan bahwa kedekatan dengan permukiman eksisting memiliki skor bobot tertinggi sebesar 0,1497 sedangkan kedekatan dengan sarana pendidikan merupakan skor bobot terkecil yaitu sebesar 0,03. Dengan adanya ketersediaan sarana dan prasarana yang memadai pada wilayah tersebut, maka akan mempengaruhi *landuse* Kecamatan Mapanget sebagai bakal kota baru Manado.

Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan

Proyeksi penggunaan lahan dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya perubahan dan konversi lahan terbangun di Kecamatan Mapanget selama 20 tahun, sejak tahun 2022 hingga tahun 2042. Simulasi berbasis LanduseSim-CA ini dilakukan sehubungan dengan adanya rencana pengembangan kota baru di Kecamatan Mapanget yang berpotensi menyebabkan perubahan penggunaan lahan pada wilayah tersebut.

Berdasarkan hasil analisis citra dan data RTRW Kota Manado, terdapat 17 kelas penggunaan lahan yang teridentifikasi dan diberikan kode untuk selanjutnya dapat diolah di LanduseSim, yang diantaranya yaitu badan air (kode *landuse* 1), badan jalan (kode *landuse* 2), bandara (kode *landuse* 3), hutan (kode *landuse* 4), industri (kode *landuse* 5), infrastruktur perkotaan (*landuse* 6), pariwisata (kode *landuse* 7), pemakaman (kode *landuse* 8), perdagangan dan jasa (kode *landuse* 9), perkantoran (kode *landuse* 10), perkebunan (kode *landuse* 11), pertahanan dan keamanan (kode *landuse* 12), permukiman (kode *landuse* 13), semak belukar (kode *landuse* 14), taman (kode *landuse* 15), tanah kosong (kode *landuse* 16) serta tempat pembuangan akhir atau TPA (kode *landuse* 17). Pemberian kode ini dilakukan agar data penggunaan lahan yang diidentifikasi sesuai dengan algoritma *software* LanduseSim untuk mengolah data berbasis numerik. Penggunaan lahan yang ada akan dikenali sebagai kode-kode dalam proses proyeksi kedepannya.

Data penggunaan lahan yang telah dikodifikasi kemudian diolah dan menghasilkan peta inisial potensi transisi pada perubahan lahan Kecamatan Mapanget yang sangat dibutuhkan dalam proses LanduseSim-CA. Hal ini disebabkan karena dasar terjadinya pertumbuhan mengikuti nilai transisi pada setiap penggunaan lahan. Peta transisi yang digunakan pada studi ini dikhususkan untuk perkembangan lahan permukiman.



Gambar 1. Peta Jarak sebagai Faktor Pendorong

Tahapan selanjutnya seperti terlihat pada Gambar 1 adalah membuat daerah jangkauan variabel pertumbuhan lahan terbangun. Prosesnya dilakukan melalui analisis *euclidean distance* (ED) atau jarak yang diolah dalam *toolbox* QGIS yaitu *distance variable*. Hasil analisis ED ini berupa peta jarak masing-masing faktor terhadap faktor pendorong lainnya. Hal ini dapat dipahami sebagai jarak antar misalnya sarana pendidikan yang satu terhadap sarana pendidikan lainnya.

Proses berikutnya adalah melakukan konversi ke dalam format ASCII dalam bentuk raster berdasarkan data jarak dari masing-masing faktor untuk selanjutnya dapat digunakan dalam LanduseSim. Tahapan ini dilakukan bertujuan untuk mengkonversi data *cell* pada raster ke dalam bentuk *text* (.txt) yang kemudian menghilangkan koordinat raster tersebut. Persiapan peta transisi untuk pertumbuhan lahan di Kecamatan Mapanget merupakan proses selanjutnya. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat peta transisi berdasarkan variabel-variabel yang ditetapkan sebagai berikut:

1. Melakukan konversi data dari peta ED setiap faktor ke dalam nilai *fuzzy set membership*. Masing-masing faktor yang telah diubah ke dalam format raster (.tif) dianalisis menjadi data raster berbasis bilangan riil. Prinsip yang dapat dijelaskan dalam proses ini yaitu setiap peta jarak akan distandarisasi dengan nilai antara nol hingga satu. Nilai nol (0) sebagai jarak terjauh dan nilai satu (1) dimaksudkan sebagai jarak terdekat. Dalam penelitian ini, penetapan nilai fuzzy pada setiap variabel yaitu *monotonically decreasing*. Hal ini mendeskripsikan bahwa apabila semakin dekat dengan faktor pendorong maka semakin besar untuk potensi perkembangan lahan.
2. Melakukan proses *overlay* pada peta-peta yang diperoleh dari analisis *fuzzy set*. Pada langkah ini dilakukan perhitungan dengan proses pembobotan. Bobot yang digunakan yaitu bobot hasil analisis AHP pada tahap awal dan berada pada rentang 0-1. Prinsip yang dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai bobot dari sebuah faktor, maka semakin besar pula faktor tersebut mempengaruhi perubahan lahan terbangun.
3. Langkah berikutnya adalah memasukkan zona *constraint* yang menjadi pembatas atau penghambat perkembangannya. Pada penelitian ini, zona *constraint* atau penghambat melihat

salah satu faktor yang berpengaruh dalam perubahan penggunaan lahan yaitu faktor kebijakan tata ruang yang didapat dari peta pola ruang yaitu kawasan lindung yang didalamnya adalah daerah sempadan sungai, sedangkan faktor pembatas perkembangan lahan permukiman sebagaimana terdapat pada tabel 3 yaitu badan air (kode *landuse* 1) badan jalan (kode *landuse* 2), bandara (kode *landuse* 3), industri (kode *landuse* 5), pariwisata (kode *landuse* 7), pemakaman umum (kode *landuse* 8), perdagangan dan jasa (kode *landuse* 9), perkantoran (kode *landuse* 10), pertahanan dan keamanan (kode *landuse* 12) dan tempat pembuangan akhir atau TPA (kode *landuse* 17).

4. Proses perhitungan ketetanggaan yang bekerja pada sistem grid merupakan tahapan selanjutnya. Kegiatan untuk membuat *neighborhood filter* (NF) yang pada umumnya sering digunakan adalah *filter* 3x3 dibandingkan *filter* 5x5. Simulasi pada penelitian ini juga menggunakan NF 3x3, dengan tujuan dapat memperoleh hasil yang lebih akurat dalam *urban growth model*. Hal ini dikarenakan kecenderungan NF 3X3 lebih memusat dalam mendekati faktor, yang artinya akan mempengaruhi terjadinya pertumbuhan atau perkembangan lahan.
5. Tahapan berikutnya adalah menentukan elastisitas perubahan lahan. Tahapan ini memberikan nilai peluang teralihfungsikan suatu lahan menjadi lahan permukiman. Nilai elastisitas dalam penelitian ini didapatkan melalui hasil wawancara terhadap *stakeholder* terkait dengan menggunakan metode AHP dan mempertimbangkan dokumen RTRW Kota Manado 2014-2034.

Tabel 2. Elastisitas Penggunaan Lahan

No	Nilai Elastisitas	Penggunaan Lahan
1	0.1232	Hutan
2	0.0458	Perdagangan dan Jasa
3	0.0358	Perkantoran
4	0.139	Perkebunan
5	0.1963	Semak Belukar
6	0.0831	Taman
7	0.3768	Tanah Kosong

6. Selanjutnya yaitu penentuan aturan transisi atau *transition rules*. Tahapan ini berisi nilai potensi perkembangan suatu lahan dan pembatas arah perkembangan lahan yang disepakati bersama *stakeholder* dengan mengacu dari luasan pola ruang RTRW Kota Manado tahun 2014-2034.

Tabel 3. Aturan Transisi untuk *Landuse* Tumbuh dan Pembatas

Kode <i>Land use</i>	<i>Landuse</i>	<i>Growth Cell</i>	Kode <i>Landuse</i> Pembatas
13	Permukiman	31309	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 17

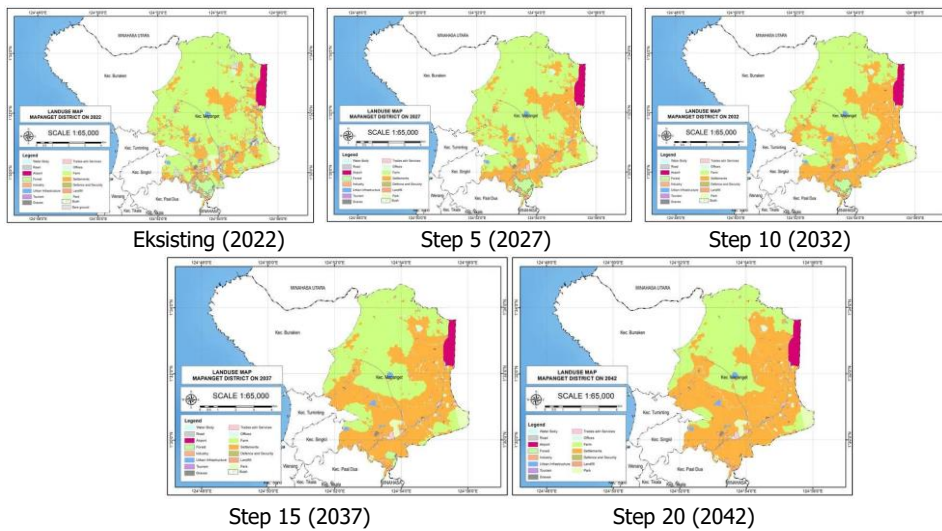
7. Selanjutnya yaitu proses simulasi. Hal yang diperhatikan yaitu banyaknya jumlah *time step*. Penelitian ini menggunakan *time step* 20 atau iterasi 20 kali untuk proyeksi tahun 2022 hingga tahun 2042. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lahan yang mengalami perkembangan pada 20 tahun ke depan terjadi pada lahan permukiman. Lahan permukiman mengalami perubahan pada tahun 2022-2042 yang secara keseluruhan mengalami peningkatan sebesar 1956.75 Ha atau 201%. Peningkatan lahan permukiman ini disebabkan dari hasil intervensi lahan perkebunan sebesar 1648.13 Ha, tanah kosong sebesar 153.813 Ha, hutan sebesar 95.6875 Ha, semak belukar sebesar 56.1875 Ha, dan taman sebesar 2.9735 Ha.

Berikut merupakan tahapan visualisasi grafik dan peta yang menunjukkan bahwa permukiman selalu mengalami peningkatan yang signifikan setiap 5 tahunnya, sedangkan lahan perkebunan terus mengalami penurunan luas atau terjadi perubahan penggunaan lahan.



Gambar 3. Grafik Perubahan Penggunaan Lahan Kecamatan Mapanget Tahun 2022-2042

Berikut merupakan peta perubahan lahan di Kecamatan Mapanget selama 20 tahun sejak tahun 2022 hingga 2042 dengan interval waktu setiap 5 tahun.



Gambar 4. Proyeksi Perubahan Penggunaan Lahan Kecamatan Mapanget Tahun 2022-2042

Tahapan akhir adalah uji validasi hasil pemodelan dengan membandingkan hasil simulasi dan peta eksisting. Pada penelitian ini menggunakan peta *landuse* eksisting tahun 2022 dan peta hasil simulasi *landuse* tahun 2042. Hasil validasi berupa *overall accuracy* dengan menggunakan *tool landuse change analysis and validation software* LanduseSim, didapatkan akurasi proyeksi sangat baik yaitu sebesar 95,44%.

Kesimpulan

Studi proyeksi penggunaan lahan berbasis LanduseSim-CA di Kecamatan Mapanget, yang diolah dengan perangkat lunak (*software*) Arcmap, QGIS, *Expert-SA*, dan LanduseSim, menunjukkan terjadinya perubahan yang signifikan. Proyeksi perubahan penggunaan lahan akan mengalami pertumbuhan hingga 20 tahun sejak tahun 2022-2042 pada lahan permukiman sebesar 1956.75 Ha atau 201%. Hasil yang diperoleh menunjukkan akan terjadi intervensi terbesar lahan perkebunan sebesar 1648.13 Ha dan terkecil akan mengintervensi pada lahan taman yang sebelumnya dibuat pihak pengembang sebesar 2.9375 Ha. Kondisi ini disebabkan oleh kedekatannya dengan beberapa faktor pendorong, dimana setelah dilakukan analisis metode AHP menunjukkan bobot terbesar faktor pendorong penggunaan lahan yaitu faktor permukiman eksisting dengan nilai bobot sebesar 0.1497 sedangkan bobot terkecil yaitu sarana pendidikan sebesar 0.0399. Penelitian ini memiliki nilai kebaruan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, dimana metode yang digunakan mengaplikasikan untuk pengembangan kota baru Mapanget di Manado.

Daftar Pustaka

- Ansari, A., & Golabi, M. H. (2019). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands – A case study: Meighan Wetland, Iran. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.10.001>
- Dendoncker, N., Rounsevell, M., & Bogaert, P. (2007). Spatial analysis and modelling of land use distributions in Belgium. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(2), 188–205.
- Dyan Syafitri, R. A. W., & Susetyo, C. (2019). Pemodelan Pertumbuhan Lahan Terbangun Sebagai Upaya Prediksi Perubahan Lahan Pertanian di Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.36453>
- Fitawok, M. B., Derudder, B., Minale, A. S., Passel, S. Van, Adgo, E., & Nyssen, J. (2020). Modeling the impact of urbanization on land-use change in Bahir Dar City, Ethiopia: An integrated cellular automata-markov chain approach. *Land*, 9(4), 1–17. <https://doi.org/10.3390/land9040115>
- Gharaibeh, A., Shaamala, A., Obeidat, R., & Al-Kofahi, S. (2020). Improving land-use change modeling by integrating ANN with Cellular Automata-Markov Chain model. *Heliyon*, 6(9), e05092. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05092>
- Girma, R., Fürst, C., & Moges, A. (2022). Land use land cover change modeling by integrating artificial neural network with cellular Automata-Markov chain model in Gidabo river basin, main Ethiopian rift. *Environmental Challenges*, 6(August 2021), 100419. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100419>
- Kafy, A. A., Naim, M. N. H., Subramanyam, G., Faisal, A. Al, Ahmed, N. U., Rakib, A. Al, Kona, M. A., & Sattar, G. S. (2021). Cellular Automata approach in dynamic modelling of land cover changes using RapidEye images in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Challenges*, 4(January), 100084. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100084>
- Khan, A., & Sudheer, M. (2022). Machine learning-based monitoring and modeling for spatio-temporal urban growth of Islamabad. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(2), 541–550. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.03.012>
- Ngangi, R. S. (2018). Analisis Pertumbuhan Kawasan Mapanget Sebagai Kota Baru. *Spasial*, 5(1), 82–91.
- Noviani, R., Muryani, C., Ahmad, Sarwono, Sugiyanto, & Prihadi, S. (2023). Modelling of urban growth based on a Geographic Information System (GIS) and cellular automata at Sukoharjo Regency in 2032. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1190(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1190/1/012042>
- Pratomoatmojo, N. A. (2018). LanduseSim Algorithm: Land use change modelling by means of Cellular Automata and Geographic Information System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/202/1/012020>
- Putra, M. R. R., & Rudiarto, I. (2018). Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Konsep Celluler Automata Di Kota Mataram. *Jurnal Pengembangan Kota*, 6(2), 174. <https://doi.org/10.14710/jpk.6.2.174-185>
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi7040154>
- Sadewo, M. N., & Buchori, I. (2018). Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Kawasan Industri Kendal (KIK) Berbasis Cellular Automata. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2), 142–154. <https://doi.org/10.22146/mgi.3333755>
- Sumarmi, S., Purwanto, P., & Bachri, S. (2021). Spatial analysis of mangrove forest management to reduce air temperature and co2 emissions. *Sustainability (Switzerland)*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/su13148090>
- Wahyudi, A., & Liu, Y. (2016). Cellular automata for urban growth modelling: A review on factors defining transition rules. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 4(2), 60–75. https://doi.org/10.14246/irspsd.4.2_60
- Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A., & Petraki, V. (2020). State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), 413–431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>