

# Prediksi Perubahan Guna Lahan pada Kawasan Aerotropolis Menggunakan Model ANN-CA: Studi Kasus Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang

Irdha Diah Utami<sup>1</sup>, Zulkifli Nasution<sup>1</sup>, Achmad Siddik Thoha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Pedesaan, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Perencanaan Wilayah, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Medan

\*Koresponden email: a.siddik@usu.ac.id

Diterima: 12 Februari 2026

Disetujui: 21 Februari 2026

## Abstract

Airport infrastructure development has driven significant land use changes in the surrounding areas. The Beringin subdistrict in Deli Serdang Regency has been designated as an aerotropolis and has undergone dynamic spatial changes since the operation of Kualanamu International Airport. This study aims to predict land use changes in the Beringin subdistrict using a spatial-temporal modeling approach based on Geographic Information Systems (GIS). Land use data for 2012, 2018, and 2024 were obtained from high-resolution satellite imagery and analyzed using the Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) model through the MOLUSCE plugin in QGIS. The driving factors used included distance to the airport, main road networks, settlements, and slope inclination. Validation results showed a high level of model accuracy. Predictions for 2036 indicate an increase in built-up areas, particularly settlements and trade and services, concentrated around the airport and transportation corridors. Conversely, agricultural areas are projected to decline. These findings confirm the role of the airport as a growth pole in the development of the aerotropolis area.

**Keywords:** *land use change, aerotropolis, artificial neural network-cellular automata, spatial modeling, regional development*

## Abstrak

Perkembangan infrastruktur bandara mendorong perubahan guna lahan yang signifikan di wilayah sekitarnya. Kecamatan Beringin di Kabupaten Deli Serdang ditetapkan sebagai kawasan aerotropolis dan mengalami dinamika perubahan ruang sejak beroperasinya Bandara Internasional Kualanamu. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan guna lahan di Kecamatan Beringin menggunakan pendekatan pemodelan spasial-temporal berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Data penggunaan lahan tahun 2012, 2018, dan 2024 diperoleh dari citra satelit resolusi tinggi dan dianalisis menggunakan model Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) melalui plugin MOLUSCE pada QGIS. Faktor pendorong yang digunakan meliputi jarak terhadap bandara, jaringan jalan utama, permukiman, dan kemiringan lereng. Hasil validasi menunjukkan tingkat akurasi model yang tinggi. Prediksi tahun 2036 mengindikasikan peningkatan kawasan terbangun, khususnya permukiman serta perdagangan dan jasa, yang terkonsentrasi di sekitar bandara dan koridor transportasi. Sebaliknya, kawasan pertanian diproyeksikan mengalami penurunan. Temuan ini menegaskan peran bandara sebagai kutub pertumbuhan dalam perkembangan kawasan aerotropolis.

**Kata kunci:** *perubahan guna lahan, aerotropolis, artificial neural network - cellular automata, pemodelan spasial, pengembangan wilayah*

## 1. Pendahuluan

Perubahan guna lahan merupakan fenomena umum yang terjadi di berbagai wilayah sebagai dampak dari meningkatnya kebutuhan lahan akibat pertumbuhan penduduk, perkembangan infrastruktur, dan aktivitas ekonomi. Perubahan guna lahan pada umumnya memicu alih fungsi lahan tidak terbangun seperti pertanian dan perkebunan menjadi lahan terbangun yang berdampak pada struktur ruang wilayah serta keberlanjutan lingkungan. Dalam perencanaan wilayah, dinamika perubahan guna lahan perlu dipahami secara spasial dan temporal agar dapat mendukung pengendalian dan pemanfaatan ruang secara efektif.

Kecamatan Beringin di Kabupaten Deli Serdang merupakan salah satu wilayah yang mengalami perubahan penggunaan lahan dalam beberapa tahun terakhir. Perubahan guna lahan yang terjadi merupakan

salah satu faktor dari ditetapkannya Kecamatan Beringin sebagai pengembangan kawasan aerotropoli di Provinsi Sumatera Utara. Keberadaan Bandara Internasional Kualanamu sebagai Bandar udara pengumpul skala pelayanan primer mendorong berkembangnya berbagai aktivitas perkotaan, seperti permukiman, perdagangan, jasa, serta infrastruktur pendukung lainnya. Kondisi ini tentu berdampak pada meningkatnya kebutuhan lahan dan tekanan pada lahan pertanian dan perkebunan di wilayah tersebut.

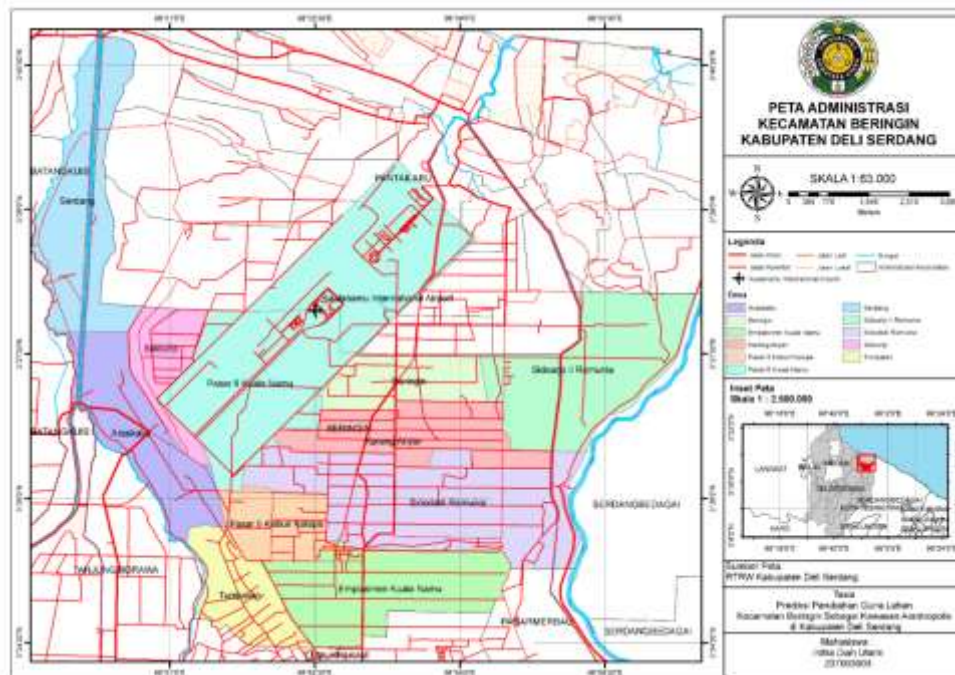
Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Deli Serdang Nomor 1 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Tahun 2021-2041, Kecamatan Beringin ditetapkan sebagai kawasan pusat transportasi dan aerotropolis. Penetapan fungsi ruang tersebut menuntut adanya keselarasan antara rencana tata ruang dan perkembangan penggunaan lahan di lapangan. Namun demikian, pesatnya pembangunan yang terjadi berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian pemanfaatan ruang apabila tidak diiringi dengan pengendalian yang berbasis data dan analisis spasial.

Pengembangan kawasan aerotropolis pada umumnya ditandai dengan peningkatan lahan terbangun dan penurunan lahan tidak terbangun dalam jangka waktu tertentu. Perubahan ini berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dan sosial ekonomi, seperti peningkatan limpasan permukaan serta perubahan mata pencaharian masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan upaya perencanaan yang mampu mengantisipasi arah dan pola perubahan penggunaan lahan di masa depan guna mendukung pembangunan wilayah yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model prediksi spasial guna lahan tahun 2036 untuk memproyeksikan arah pengembangan Kecamatan Beringin sebagai kawasan aerotropolis

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Beringin, Kabupaten Deli Serdang yang ditetapkan sebagai kawasan aerotropolis dalam RTRW Kabupaten Deli Serdang Tahun 2021-2041. Pemilihan lokasi ini disebabkan oleh perkembangan perubahan lahan akibat keberadaan Bandara Internasional Kualanamu. Penelitian dilakukan selama periode Mei-November 2025 yang meliputi pengumpulan data, pengolahan data spasial, analisis perubahan penggunaan lahan, serta permodelan prediksi.



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian  
 Sumber: RTRW Kabupaten Deli Serdang

## 2.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan dan interpretasi visual citra satelit resolusi tinggi untuk mengidentifikasi penggunaan lahan eksisting. Data sekunder yang diperoleh berupa peta administrasi, jaringan jalan, data fasilitas bandara, serta dokumen perencanaan wilayah seperti RTRW Kabupaten Deli Serdang tahun 2021-2041 dan RDTR Kecamatan Beringin dan Pantai Labu. Klasifikasi penggunaan lahan dibagi ke dalam 12 kelas mencakup lahan terbangun non-terbangun yang dianalisis pada tahun 2012, 2018, dan 2024 sebagai dasar dalam mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan secara spasial dan temporal. Kelas guna lahan tersebut meliputi badan air, fasilitas kesehatan, fasilitas pendidikan, fasilitas umum, industri, kawasan hortikultura, kawasan perkebunan, kawasan permukiman, kawasan tanaman pangan, bandara kualanamu, perdagangan dan jasa, dan peternakan.

## 2.3. Alat dan Teknik Analisis

Pengolahan dan analisis data spasial dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui perangkat lunak QGIS. Analisis perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan metode overlay peta dengan periode 2012, 2018, dan 2024 untuk mengetahui arah dan besaran perubahan lahan. Prediksi perubahan penggunaan lahan dilakukan menggunakan pendekatan Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) melalui plugin Molusce pada QGIS.

Model ANN-CA memanfaatkan data perubahan historis serta variabel pendorong perubahan penggunaan lahan, antara lain jarak terhadap jaringan jalan, pusat aktivitas, dan kawasan bandara. ANN digunakan untuk menghitung potensi transisi penggunaan lahan, sedangkan Cellular Automata digunakan untuk memodelkan simulasi pola perubahan spasial berdasarkan ketetanggaan sel.

Dalam mendukung pelaksanaan penelitian maka diperlukan berbagai jenis data, baik data primer maupun sekunder yang berkaitan dengan tujuan penelitian yang akan dilakukan. Sesuai dengan tujuan penelitian ini maka data-data yang dibutuhkan dalam penelitian diuraikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Jenis dan Sumber Data Penelitian

Data	Jenis Data	Sumber Data	Fungsi
Citra Satelit (World Imagery)	Data Sekunder	Google Earth dan ESRI	Basis digitasi penggunaan lahan tahun 2012, 2018, dan 2024
Peta administrasi Kecamatan Beringin, jaringan jalan, fasilitas bandara, data lahan terbangun, dan kemiringan lereng	Data Sekunder	Badan Informasi Geospasial	Variabel pendorong ( <i>Driving Factors</i> )
Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Deli Serdang Tahun 2021-2041	Data Sekunder	Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang	Acuan peraturan Kecamatan Beringin sebagai kawasan aerotropolis
Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kawasan Perkotaan Pantai Labu-Beringin Tahun 2021-2041	Data Sekunder	Dinas Cipta Karya dan Tata Ruang	Acuan peraturan Kecamatan Beringin sebagai kawasan aerotropolis
Observasi lapangan	Data Primer	Kecamatan Beringin	Validasi ( <i>Ground check</i> ) hasil klasifikasi

## 2.4. Validasi Model

Validasi model prediksi dilakukan dengan menggunakan koefisien Kappa untuk mengukur tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dengan kondisi penggunaan lahan aktual. Nilai koefisien Kappa mendekati satu (1) menunjukkan tingkat akurasi model yang tinggi dan menandakan bahwa model layak digunakan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di waktu yang akan datang.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Perubahan Penggunaan Lahan sebagai Dasar Pemodelan.

Hasil analisis perubahan penggunaan lahan di Kecamatan Beringin menunjukkan adanya perubahan spasial yang cukup intens pada periode 2012-2024. Perubahan paling signifikan ditandai dengan adanya konversi lahan non-terbangun terutama lahan pertanian dan Perkebunan, ke arah terbangun berupa kawasan permukiman, perdagangan, serta infrastruktur pendukung aktivitas bandara. Secara spasial, perubahan tersebut dominan terjadi pada area yang berada di sekitar Bandara Internasional Kualanamu dan sepanjang

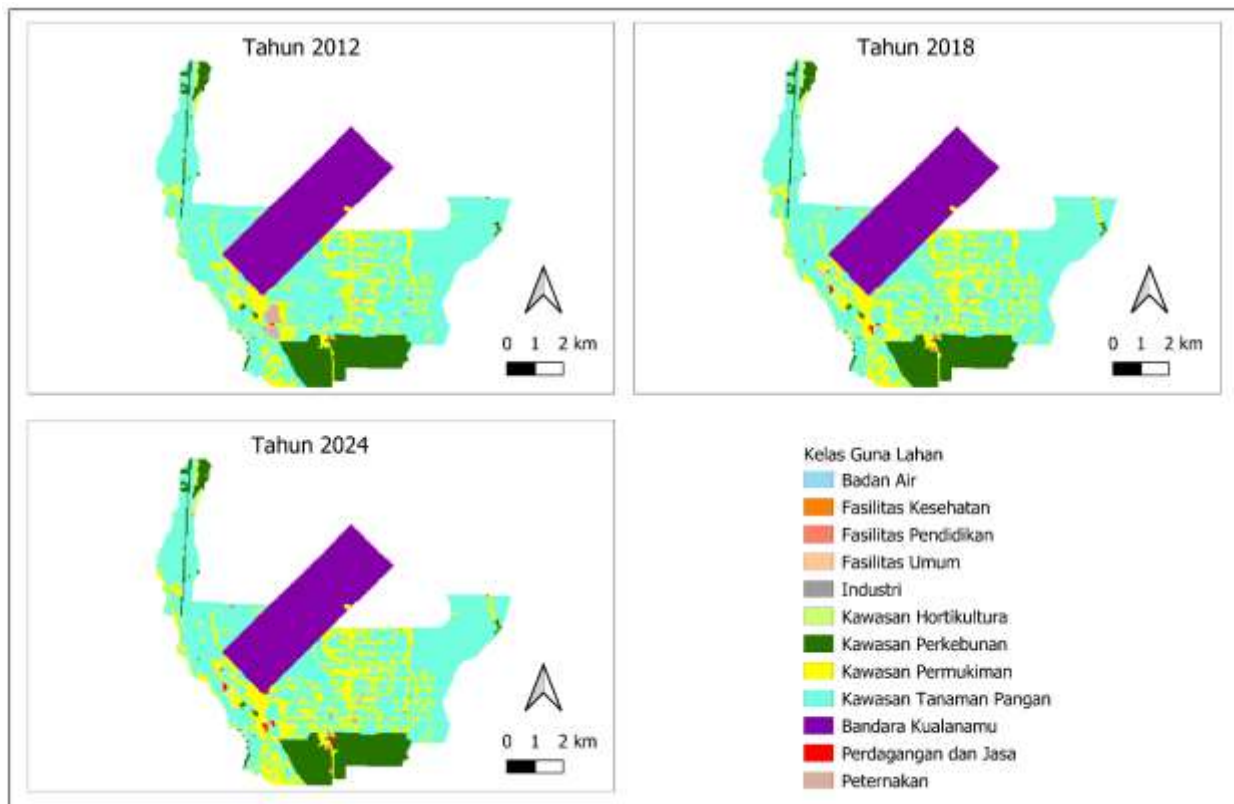
jaringan jalan utama. Untuk memberikan gambaran terkait perubahan luas guna lahan serta persentase perubahan di seluruh kelas penggunaan lahan akan disajikan pada **Tabel 2** berikut.

**Tabel 2.** Jenis dan Sumber Data Penelitian

Kode Guna Lahan	Jenis Guna Lahan	Luas Tahun 2012 (Ha)	Luas Tahun 2018 (Ha)	Luas Tahun 2024 (Ha)	Perubahan 2012-2024 (Ha)	Persentase Perubahan
1	Badan Air	33,66	33,66	33,66	-	0,00%
2	Fasilitas Kesehatan	1,44	1,44	1,44	-	0,00%
3	Fasilitas Pendidikan	4,41	9,81	11,79	7,38	167,35%
4	Fasilitas Umum	6,66	8,91	10,53	3,87	58,11%
5	Industri	3,96	5,85	7,11	3,15	79,55%
6	Kawasan Hortikultura	122,04	121,68	121,41	(0,63)	-0,52%
7	Kawasan Perkebunan	679,77	673,83	667,98	(11,79)	-1,73%
8	Kawasan Permukiman	767,25	1.006,92	1.044,99	277,74	36,20%
9	Kawasan Tanaman Pangan	3.301,11	3.098,70	3.054,15	(246,96)	-7,48%
10	Bandara Kualanamu	1.360,80	1.360,80	1.360,80	-	0,00%
11	Perdagangan dan Jasa	0,90	8,55	15,39	14,49	1.610,00%
12	Peternakan	53,19	5,04	5,94	(47,25)	-88,83%
<b>Luas Wilayah</b>		6.335,19	6.335,19	6.335,19		

Bertambahnya luas lahan terbangun mencerminkan proses perkembangan kawasan aerotropolis yang didorong oleh peningkatan aktivitas ekonomi serta kebutuhan ruang terbangun. Dinamika perubahan penggunaan lahan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan pola transisi lahan pada tahap pemodelan prediksi. Berdasarkan table tersebut dapat dilihat bahwa kawasan tanaman pangan kehilangan luas sebesar 246,96 Ha selama 12 tahun. Sebaliknya, kawasan permukiman bertambah sekitar 277,74 Ha. Penurunan luas juga terjadi pada kelas guna lahan kawasan perkebunan dan kawasan hortikultura. Hal ini menunjukkan bahwa fenomena konversi lahan pertanian berubah menjadi permukiman terjadi di Kecamatan Beringin. Selain konversi lahan pertanian, perubahan guna lahan yang terjadi di Kecamatan Beringin juga terjadi pada kelas guna lahan perdagangan dan jasa.

Meskipun perubahan luasnya relatif kecil, tapi ini dapat menjelaskan bahwa fungsi ekonomi di kawasan aerotropolis juga perlu menjadi perhatian. Berdasarkan analisis yang dilakukan, pada setiap periode analisis muncul aktivitas ekonomi baru di sepanjang koridor utama menuju Bandara Internasional Kualanamu. Penambahan luas kawasan perdagangan dan jasa menunjukkan pertumbuhan perekonomian menjadi sebab dari kebutuhan pelayanan bagi penumpang yang datang dan berangkat setiap tahunnya. Munculnya jasa penginapan, kuliner, dan pergudangan di sepanjang koridor utama merupakan bentuk ekosistem utama dari kawasan aerotropolis di Kecamatan Beringin.



**Gambar 2.** Perubahan Guna Lahan Kecamatan Beringin Tahun 2012, 2018 dan 2024

### 3.2. Hasil Validasi Model ANN-CA

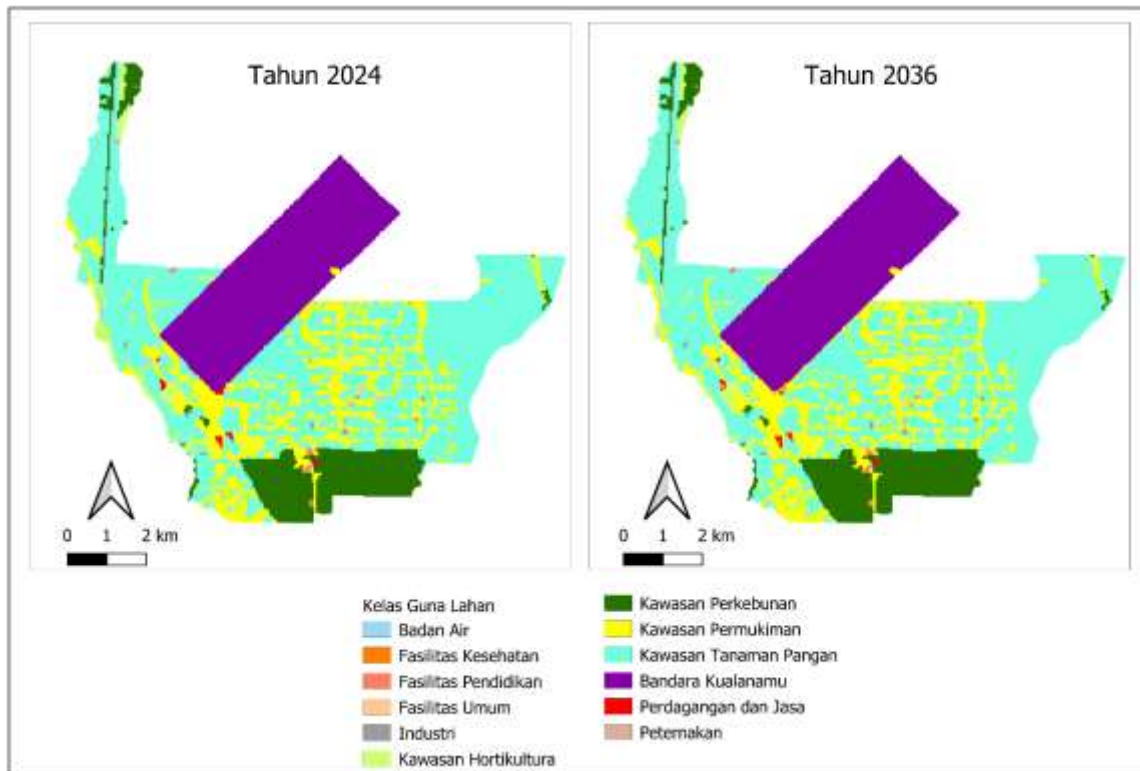
Validasi model prediksi dilakukan untuk menguji tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan kondisi penggunaan lahan actual. Hasil uji validasi menggunakan koefisien Kappa menunjukkan nilai yang berada pada kategori baik hingga sangat baik, yang menandakan bahwa model ANN-CA mampu merepresentasikan pola perubahan penggunaan lahan secara spasial dengan tingkat akurasi yang tinggi. Validasi model dan akurasi simulasi ditunjukkan oleh grafik dan hasil perhitungan nilai kappa. Kappa yang akan ditampilkan berupa % of Correctness, Kappa (overall), kappa (histogram) dan kappa (location).

Hasil validasi model ANN-CA dilakukan pada data periode tahun 2012 dan 2018 menghasilkan nilai Kappa % of Correctness sebesar 99,17603 yang berarti model mampu menduplikasi pola guna lahan eksisting tahun 2024 dengan tingkat kesalahan yang sangat rendah. Kappa (overall) sebesar 0,98789 yang menunjukkan performa model dalam kategori hampir sempurna. Hasil validasi model ANN-CA tersebut didukung oleh nilai Kappa (histogram) sebesar 0,98824 dan nilai Kappa (location) sebesar 0,99964 yang menunjukkan akurasi tinggi pada aspek kuantitas luas guna lahan maupun presisi penempatan spasial. Uji validasi yang mendekati angka 1 menunjukkan tingkat kesepakatan atau validitas yang sangat kuat antara pola perubahan lahan hasil pembelajaran model dengan data perubahan lahan eksisting di wilayah studi. Berdasarkan hasil uji pemodelan potensi transisi, model prediksi perubahan guna lahan ini memiliki tingkat akurasi tinggi dalam mengenali pola transisi lahan di Kecamatan Beringin.

### 3.3. Prediksi Penggunaan Lahan Tahun 2036

Hasil pemodelan prediksi penggunaan lahan tahun 2036 menunjukkan kecenderungan peningkatan luas lahan terbangun secara signifikan, terutama pada zona yang berada di sekitar bandara dan koridor transportasi utama. Lahan non-terbangun diproyeksikan akan terus mengalami tekanan konversi akibat meningkatnya kebutuhan ruang untuk permukiman, perdagangan, dan jasa pendukung aktivitas aerotropolis.

Proyeksi spasial guna lahan Kecamatan Beringin Tahun 2036 merupakan hasil integrasi antara probabilitas tansisi ANN dan interaksi pixel tetangga (*neighbourhood*) dalam algoritma *Cellular Automata*. Secara visual, peta hasil simulasi tahun 2036 menunjukkan kecenderungan pola ruang yang masih didominasi oleh kelas lahan eksisting, yang mengindikasikan bahwa perubahan lahan di Kecamatan Beringin berlangsung secara bertahap. Perubahan spasial guna lahan Kecamatan Beringin tahun 2036 akan ditampilkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Prediksi Guna Lahan Kecamatan Beringin Tahun 2024 dan 2036

Pola spasial prediksi menunjukkan bahwa perkembangan kawasan terbangun tidak terjadi secara acak melainkan mengikuti pola aglomerasi ruang yang terstruktur dan terhubung dengan infrastruktur utama. Kondisi ini memperkuat karakter Kecamatan Beringin sebagai kawasan aerotropolis yang berkembang secara intensif dan terintegrasi. Analisis perubahan luasan dilakukan untuk mengidentifikasi transisi guna lahan yang terjadi antara kondisi eksisting tahun 2024 dengan hasil proyeksi tahun 2036. Perhitungan luasan guna lahan ini penting karena mampu mengidentifikasi perubahan kelas lahan yang tidak terlihat jelas melalui visualisasi peta proyeksi tahun 2036. Melalui perbandingan angka statistik ini, nantinya akan dapat diketahui laju pertumbuhan kawasan terbangun serta besarnya konversi terhadap lahan pertanian di Kecamatan Beringin dalam periode 12 tahun ke depan. Rincian perbandingan luasan guna lahan antara kondisi eksisting tahun 2024 dengan proyeksi tahun 2036 disajikan dalam **Tabel 3** berikut.

**Tabel 3.** Luasan Guna Lahan Kecamatan Beringin Tahun 2024 dan 2036

Kode Guna Lahan	Jenis Guna Lahan	Luas Tahun 2024 (Ha)	Luas Tahun 2036 (Ha)	Perubahan 2024-2036 (Ha)	Persentase Perubahan
1	Badan Air	33,66	33,66	0,00	0,00%
2	Fasilitas Kesehatan	1,44	1,44	0,00	0,00%
3	Fasilitas Pendidikan	11,79	11,79	0,00	0,00%
4	Fasilitas Umum	10,53	10,53	0,00	0,00%
5	Industri	7,11	7,11	0,00	0,00%
6	Kawasan Hortikultura	121,41	120,23	-1,18	-0,97%
7	Kawasan Perkebunan	667,98	665,89	-2,09	-0,31%
8	Kawasan Permukiman	1.044,99	1.072,35	27,36	2,62%
9	Kawasan Tanaman Pangan	3.054,15	3.029,63	-24,52	-0,80%
10	Bandara Kualanamu	1.360,80	1.360,80	0,00	0,00%
11	Perdagangan dan Jasa	15,39	15,82	0,43	2,79%
12	Peternakan	5,94	5,94	0,00	0,00%
<b>Luas Wilayah</b>		6.335,19	6.335,19		

Hasil prediksi perubahan guna lahan tahun 2036 menunjukkan pergeseran fungsi Kecamatan Beringin dari kawasan pertanian menuju kawasan aerotropolis yang mendukung aktivitas Bandara Internasional Kualanamu. Perubahan transisi lahan didominasi oleh pertumbuhan kawasan permukiman serta perdagangan dan jasa sebagai respon terhadap peran bandara sebagai pusat pertumbuhan ekonomi. Pola perkembangan kawasan terbangun cenderung bersifat mengelompok dan mengisi ruang di sekitar bangunan eksisting, yang mengindikasikan kuatnya pengaruh interaksi ketetanggaan (*neighbourhood*) dalam proses perubahan lahan.

Penambahan luas kawasan permukiman sebesar 27,36 Ha (2,62%) dan sektor perdagangan dan jasa sebesar 0,43 Ha (2,79%) mencerminkan terbentuknya pola aglomerasi ruang, sejalan dengan teori kutub pertumbuhan (*growth pole theory*) yang menempatkan bandara sebagai unit pendorong utama perkembangan wilayah. Sementara itu, penurunan luas lahan tanaman pangan yang signifikan menunjukkan adanya tekanan konversi lahan akibat perluasan kawasan terbangun. Hasil pemodelan ANN menegaskan bahwa variabel kedekatan terhadap bandara dan jaringan jalan utama memiliki pengaruh dominan terhadap probabilitas perubahan guna lahan, yang mencerminkan pergeseran orientasi ekonomi Masyarakat dari sektor primer menuju sektor sekunder dan tersier yang mendukung aktivitas aerotropolis.

Pola perubahan guna lahan tersebut dipengaruhi oleh sejumlah faktor pendorong yang diidentifikasi melalui pembobotan variabel dalam model ANN. Variabel kedekatan terhadap Bandara Internasional Kualanamu dan jaringan jalan utama memiliki bobot tertinggi dalam menentukan probabilitas transisi lahan menjadi kawasan terbangun. Selain itu, kedekatan dengan kawasan permukiman eksisting turut memperkuat kecenderungan perubahan lahan melalui mekanisme interaksi ketetanggaan (*neighbourhood*). Temuan ini menunjukkan bahwa aksesibilitas dan konektivitas spasial merupakan faktor utama dalam membentuk pola perkembangan guna lahan di Kecamatan Beringin.

#### 4. Kesimpulan

Pemodelan prediksi menggunakan pendekatan ANN-CA menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dengan nilai akurasi mencapai 99,17% dengan nilai Kappa (Overall) 0,98789, Kappa (histogram) 0,9824 dan nilai Kappa location sebesar 0,99964. Hasil validasi ini menegaskan bahwa model mampu mempelajari pola perubahan spasial periode 2012-2024 secara efektif dan merepresentasikan kecenderungan perkembangan guna lahan di masa depan yang mengikuti koridor transportasi utama.

Proyeksi perubahan guna lahan hingga tahun 2036 mengindikasikan terjadinya transformasi ruang yang signifikan, ditandai dengan dominasi pertumbuhan kawasan permukiman yang meningkat sebesar 305,10 Ha (39,77%) sejak tahun 2012, disertai penurunan luas kawasan tanaman pangan serta hortikultura dan Perkebunan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini mempertegas perubahan karakteristik Kecamatan Beringin menuju kawasan aerotropolis yang didominasi oleh fungsi hunian dan komersial sebagai penunjang utama aktivitas Bandara Internasional Kualanamu.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana dukungan Pemerintah Kabupaten Deli Serdang dan Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Penulis mengucapkan terima kasih kepada warga Kecamatan Beringin dan pihak yang membantu penelitian ini berlangsung.

#### 6. Singkatan

ANN	Artificial Neural Network
CA	Cellular Automata
MOLUSCE	Modules for Land Use Change Simulation
QGIS	Quantum Geographic Information System
RTRW	Rencana Tata Ruang Wilayah
RDTR	Rencana Detail Tata Ruang

#### 7. Daftar Pustaka

- [1] Hapsary, M. S. A., Subiyanto, S., Firdaus, H. S. "Analisis Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan dengan Pendekatan Artificial Neural Network dan Regresi Logistik di Kota Balikpapan," Jurnal Geodesi Undip Vol. 10 No. 2 : 88-97, 2021.
- [2] Jamaluddin, Abdul Azis. *Penerapan Konsep Aerotropolis dalam Pengembangan Wilayah Sekitar Bandara Internasional Sultan Hasanuddin*. Diss. Universitas Hasanuddin, 2024.

- [3] Jumino. "Kajian Teori Growth Poles dari Francois Perroux dan Relevansinya Untuk Pertumbuhan Ekonomi Regional Tangerang Selatan," *Jurnal Pendidikan, Hukum, dan Bisnis*. Vol. 4 No. 1: 24-36, 2019.
- [4] Kamal, M. R. S., Satria, R. A., & Way, B., "Pola dan Pemodelan Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman Sebagai Wilayah Peri-Urban," *Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman*. Vol. 7 No.1: 44-58, 2025.
- [5] Kesselring, Sven. "*Global Transfer Points; International airports and the future of cities and regions*." In Knippenberger, U. & Wall, A. (Eds.) *Airport in Cities and Region*," German, KIT Publishing, 2009.
- [6] Pemerintah Kabupaten Deli Serdang, Peraturan Daerah Kabupaten Deli Serdang Nomor 1 Tahun 2021 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Deli Serdang Tahun 2021-2041, 2021.
- [7] Pemerintah Kabupaten Deli Serdang, Peraturan Bupati Deli Serdang Nomor 30 Tahun 2021 tentang Rencana Detail Tata Ruang Kawasan Perkotaan Pantai Labu-Beringin Tahun 2021-2041, 2021.
- [8] Rahmah, A. N., Subiyanto, S., Amarrohman, F.J. "Permodelan Perubahan Penggunaan Lahan dengan Artificial Neural Network (ANN) di Kota Semarang," *Jurnal Geodesi Undip*. Vol. 6 No. 1 : 197-206, 2020.
- [9] Rakuasa, H., Salakory, M., Mehdil, M.C., "Prediksi Perubahan Tutupan Lahan di DAS Wae Batu Merah, Kota Ambon Menggunakan Cellular Automata Markov Chain," *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan*. Vol. 6 No. 2 : 59-75, 2022.
- [10] Rasyid, A.H.A., Mandaka, M., Sasmito, A. "Penerapan Konsep Aerotropolis pada Pengembangan Bandar Udara," *Sarga: Journal of Architecture and Urbanism*. Volume 17 No 2 July 2023 Page 13-22. Doi 10.56444/sarga.v17i2.567 <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/sarga>, 2023.
- [11] Schlaack, Johanna. "*Defining the Aireas; Evaluating urban output and forms of interaction between airport and region*," In Knippenberger, U. & Wall, A. (Eds.) *Airport in Cities and Region*. German, KIT Publishing, 2009.
- [12] Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S.A., Batool, S., Al-Wadud, M.A., Ullah, S., & Tariq, A. "Predicting land use and Land Cover Changes for Sustainable Land Management using CA-Markov Modelling and GIS Techniques," *Scientific Reports*, 15,3271. <https://doi.org/10.1038/s41598-025087796-w>, 2025.
- [13] Umar, I., Widiatmaka., Pramudya, B., & Barus, B., "Evaluasi Keseuaian Lahan untuk Kawasan Permukiman dengan Metode Multi Criteria Evaluation di Kota Padang," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol. 7 No. 2: 148-154, 2017.
- [14] Yunanto, M. A., Susetyo, C., "Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Akibat Pembangunan Gerbang Tol Krian dan Driyorejo di Kecamatan Driyorejo, Kabupaten Gresik," *Jurnal Teknik ITS* Vol. 7 No. 2 : C223-C230, 2018.