



ALIH FUNGSI LAHAN PERTANIAN PANGAN BERKELANJUTAN DI PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT DENGAN *CELLULAR AUTOMATA-ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* (CA-ANN)

LAND-USE CONVERSION IN SUSTAINABLE FOOD AGRICULTURAL ZONES OF WEST NUSA TENGGARA PROVINCE BASED ON CELLULAR AUTOMATA-ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (CA-ANN) MODELING

Imam Hidayat^{1,3*}, Anthon Efani², Maharani Pertiwi Koentjoro¹

¹Program Magister Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan dan Pembangunan, Universitas Brawijaya, Kota Malang, Indonesia

²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Kota Malang, Indonesia

³Dinas Pekerjaan Umum, Penataan Ruang, Perumahan dan Kawasan Permukiman, Pemerintah Provinsi NTB, Mataram, Indonesia

*Korespondensi: imamhidayat24@student.ub.ac.id

Info Artikel:

- Artikel Masuk: 26/09/2025
- Artikel diterima: 30/03/2026
- Tersedia Online: 31/03/2026

ABSTRAK

Alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan permukiman di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan ancaman serius terhadap ketahanan pangan daerah. Sebagai upaya pengendalian alih fungsi lahan, Pemerintah Provinsi NTB telah menetapkan Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B) seluas 282.067 hektar. Namun demikian, perubahan tutupan lahan menunjukkan peningkatan signifikan kawasan permukiman dari 27.877 hektar pada tahun 2015 menjadi 63.739 hektar pada tahun 2020. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kawasan yang rentan terhadap alih fungsi lahan pada KP2B melalui pemodelan prediksi pengembangan kawasan permukiman berdasarkan tren pengembangan historis hingga tahun 2040. Metode yang digunakan adalah Cellular Automata–Artificial Neural Network (CA–ANN) dengan memanfaatkan plugin MOLUSCE pada QGIS, yang selanjutnya dianalisis menggunakan teknik overlay spasial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kawasan permukiman diproyeksikan meningkat menjadi 111.848 hektar pada tahun 2040 atau bertambah sekitar 47.109 hektar. Hasil overlay mengindikasikan potensi alih fungsi lahan pertanian pada KP2B seluas 2.539 hektar, dengan tingkat akurasi model sebesar 0,67 berdasarkan koefisien Kappa. Temuan ini menegaskan pentingnya penguatan kebijakan perlindungan lahan pertanian dan penegakan tata ruang guna menjaga keberlanjutan ketahanan pangan di NTB.

Kata Kunci: Alih fungsi lahan, KP2B, Permukiman, MOLUSCE, QGIS

ABSTRACT

The conversion of agricultural land into settlement areas in West Nusa Tenggara Province poses a significant threat to regional food security. In response, the provincial government has designated 282,067 hectares as Sustainable Food Agricultural Areas (KP2B) to control land-use conversion. However, land cover dynamics indicate a rapid expansion of settlement areas, increasing from 27,877 hectares in 2015 to 63,739 hectares in 2020. This study aims to identify and analyze areas vulnerable to land-use conversion within KP2B by modeling settlement expansion based on historical development trends and projecting land-use change to 2040. A Cellular Automata–Artificial Neural Network (CA–ANN) approach was applied using the MOLUSCE plugin in QGIS, followed by spatial overlay analysis to assess potential conversion within KP2B. The results project that settlement areas will expand to 111,848 hectares by 2040, representing an increase of approximately 47,109 hectares. Overlay analysis reveals that 2,539 hectares of KP2B are potentially exposed to land-use conversion, with a model accuracy of 0.67 based on the Kappa coefficient. These findings highlight the urgency of strengthening spatial planning enforcement and agricultural land protection policies to ensure the sustainability of food security in NTB.

Keywords: Land Conversion, KP2B, Settlement, MOLUSCE, QGIS

1. PENDAHULUAN

Isu ketahanan pangan masih menjadi masalah global di seluruh negara yang belum terselesaikan, terutama Indonesia. Kebutuhan pangan yang masih belum merata baik ketersediaan maupun keterjangkauan di setiap daerah, menjadi faktor risiko terjadinya perbedaan produksi hasil pertanian, akibat luas wilayah pertanian dan kondisi geografis yang sangat beragam (Rahman et al., 2024). Fenomena alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan permukiman di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) menjadi isu strategis karena berdampak langsung terhadap penurunan ketahanan pangan daerah. Pertumbuhan penduduk dan kebutuhan akan ruang permukiman mendorong terjadinya konversi lahan pertanian produktif, sehingga luas lahan yang semula digunakan untuk budidaya pangan semakin menyusut. Akibatnya, produksi pangan lokal menurun dan ketergantungan terhadap pasokan pangan dari luar daerah meningkat, yang pada akhirnya mengancam ketersediaan pangan berkelanjutan di NTB (Ikhwanto, 2019). Selain itu, alih fungsi lahan ini juga menimbulkan permasalahan sosial-ekonomi, seperti berkurangnya lapangan kerja di sektor pertanian dan menurunnya kesejahteraan petani. Oleh karena itu, kebijakan pengendalian alih fungsi lahan yang tidak hanya mengedepankan aspek yuridis, diperlukan dengan mempertimbangkan pendekatan ekonomi dan sosial secara komprehensif, guna menjaga keberlanjutan pangan dan kesejahteraan masyarakat NTB (Ikhwanto, 2019; Desmawan et al., 2024).

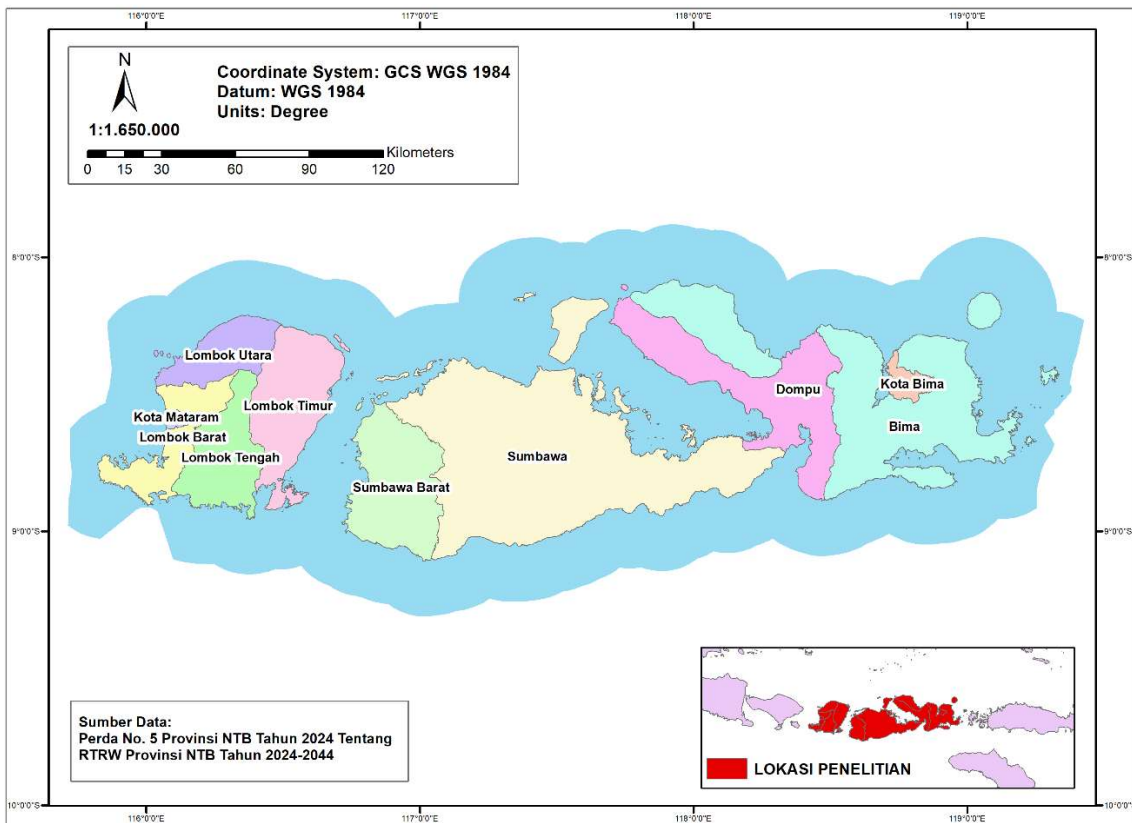
Pertumbuhan penduduk di Provinsi NTB menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan untuk ruang tinggal atau perumahan. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) luas kawasan permukiman Provinsi NTB pada tahun 2009 sebesar 14.188 Ha. Pesatnya urbanisasi pada saat ini telah mengakibatkan perubahan fungsi lahan yang cukup signifikan pada lahan pertanian dan hutan menjadi kawasan perkotaan atau lahan terbangun. Lahan yang sering berubah menjadi lahan permukiman adalah lahan pertanian, seperti lahan persawahan (Janti, 2016). Pembangunan yang tidak terkontrol, menyebabkan alih fungsi lahan yang tidak sesuai peruntukannya. Pada tingkat Provinsi, upaya untuk mengatasi alih fungsi lahan pertanian menjadi lahan non pertanian adalah dengan membuat kebijakan mengenai KP2B. KP2B adalah lahan pertanian yang ditetapkan untuk dilindungi dan dikembangkan secara konsisten guna menghasilkan bahan pangan pokok untuk kemandirian, ketahanan, dan kedaulatan pangan nasional (Miranti et al., 2020). Peraturan Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat No. 5 Tahun 2024 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi (RTRWP) NTB Tahun 2024-2044 menetapkan KP2B seluas 282.062 ha dari total 772.669 ha kawasan pertanian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kawasan yang rentan terhadap alih fungsi lahan pada KP2B melalui pendekatan pemodelan spasial prediksi pengembangan kawasan permukiman berdasarkan tren pengembangan historis, sehingga diperoleh proyeksi pengembangan kawasan permukiman pada tahun 2040 di Provinsi NTB. Penelitian mengenai pertanian pangan berkelanjutan sudah pernah dilakukan yang berfokus pada instrumen implementasi Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) di Kecamatan Pelaihari Kabupaten Tanah Laut dan implementasi kebijakan LP2B di Kota Makassar (Mustari et al., 2021; Yusran et al., 2023). LP2B dimaksudkan untuk melindungi lahan pertanian dan dikembangkan secara konsisten guna menghasilkan pangan pokok bagi kemandirian, ketahanan dan kedaulatan nasional (Mustari et al., 2021). KP2B merupakan wilayah pertanian terutama pada wilayah perdesaan yang memiliki hamparan LP2B dan hamparan Lahan Cadangan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LCP2B) serta penunjangnya dengan fungsi utama untuk mendukung kemandirian, ketahanan, dan kedaulatan pangan nasional. LP2B Penelitian terkait prediksi pengembangan Kawasan Permukiman terhadap penetapan kebijakan KP2B belum pernah dilakukan sebelumnya, khususnya pasca ditetapkannya Undang-Undang No.6 Tahun 2023 mengenai menetapkan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang (Perppu) Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi undang-undang terutama yang berfokus di Provinsi NTB dan juga nomenklatur KP2B yang tercantum dalam produk perencanaan Tata Ruang di daerah. Namun, penelitian yang mengintegrasikan prediksi spasial permukiman dengan analisis kerentanan KP2B pasca-UU Cipta Kerja, khususnya di NTB, masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan Integrasi *Cellular Automata–Artificial Neural Network (CA-ANN)* dan analisis *overlay* spasial untuk menilai perkembangan permukiman dan alih fungsi KP2B di Provinsi NTB.

2. DATA DAN METODE

2.1. Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian mencakup wilayah daratan administratif Provinsi NTB dengan batas utara Laut Flores dan Laut Jawa, batas timur Provinsi Nusa Tenggara Timur, batas selatan Samudera Hindia dan batas barat Provinsi Bali. Luas administratif sebesar 4.758.132 ha dengan luas daratan sebesar 1.966.639 ha dan luas wilayah lautan 2.791.492 ha, seperti yang terlihat dalam Gambar 1. Petadengan skala tampil 1:250.000 dan data geospasial memiliki ketelitian skala pada 1:50.000 digunakan untuk analisis dalam penelitian ini. Wilayah lokus penelitian dipilih karena Provinsi NTB menetapkan kebijakan KP2B dalam RTRW Provinsi untuk menjaga lahan di Kawasan pertanian agar tidak mudah teralihfungsi menjadi peruntukkan lahan terbangun. Sehingga dengan adanya penelitian ini memberikan gambaran mengenai lokus lokasi KP2B yang diprediksi akan teralih fungsi menjadi lahan terbangun khususnya menjadi kawasan permukiman.



Sumber : RTRW Provinsi NTB Tahun 2024-2044, 2024

Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian

2.2. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai jenis data spasial dalam format shapefile yang mencakup tutupan lahan tahun 2015 dan 2020, rencana serta eksisting pola ruang, struktur jaringan jalan, data administrasi wilayah, dan deliniasi KP2B. Seluruh data tersebut menjadi dasar dalam pemodelan prediksi pengembangan kawasan permukiman serta analisis overlay untuk mengidentifikasi potensi alih fungsi lahan pada KP2B. Selain itu, data atribut hasil interpretasi dimanfaatkan sebagai penunjang dalam memberikan konteks analisis sekaligus sebagai bahan verifikasi model. Data yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber resmi dan dapat dipercaya, khususnya instansi pemerintah yang berwenang sebagai pengampu data. Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penelitian

Jenis Data	Sumber	Tahun	Spesifikasi	Tujuan Analisis
Shapefile tutupan lahan 2015	KLHK, DPUPR NTB	2016		Data dasar pemodelan
Shapefile tutupan lahan 2020	KLHK, DPUPR NTB	2022		
Shapefile Jalan Eksisting	DPUPR NTB	2024		Variabel pendorong (jarak)
Shapefile Rencana Struktur Ruang Jalan	DPUPR NTB	2024		Variabel pendorong (jarak)
Shapefile Pola Ruang Eksisting	DPUPR NTB	2024	Skala 1: 50.000	Data dasar pemodelan
Shapefile Rencana Pola Ruang	DPUPR NTB	2024		Variabel pendorong dan overlay
Shapefile Delniasi KP2B	DPUPPR NTB	2024		Analisis overlay
Data administrasi	KEMENDAGRI/ DPUPR NTB	2024		Konteks wilayah

Prediksi pengembangan kawasan permukiman dilakukan dengan mempertimbangkan enam variabel utama yang meliputi data tutupan lahan tahun 2015 dan 2020 yang merepresentasikan kondisi eksisting dan dinamika historis perubahan lahan, rencana pola ruang yang mencerminkan arah kebijakan tata ruang wilayah, serta struktur ruang jalan yang berperan sebagai faktor aksesibilitas dalam mendorong perkembangan permukiman. Selain itu, deliniasi KP2B juga digunakan sebagai variabel penting untuk mengidentifikasi potensi alih fungsi lahan yang beririsan dengan hasil prediksi pengembangan Kawasan permukiman pada tahun 2040.

2.3. Metode Analisis Data

Analisis spasial pemodelan penggunaan lahan dengan algoritma *Cellular Automata (CA) – Artificial Neural Network (ANN)* dalam *plugin Modules for Land Use Change Evaluation (MOLUSCE)* QGIS dilakukan secara sistematis untuk memahami pola sebaran pemanfaatan ruang kawasan permukiman dengan memperhatikan pemanfaatan lahan terbangun dengan klasifikasi data tutupan lahan (Hapsary et al., 2021). Dalam konteks prediksi kawasan permukiman, MOLUSCE dalam penelitian ini menggunakan data tutupan lahan dari dua periode waktu sebagai dasar pelatihan model, serta data variabel pendorong seperti jarak ke jalan, kedekatan dengan pusat kota, kepadatan penduduk, dan faktor topografi (Muhammad et al., 2022). Algoritma *Cellular Automata* sebagai pendekatan yang efektif dalam memodelkan dinamika spasial penggunaan lahan yang kompleks. CA menginterpretasi dinamika terhadap perubahan tata guna lahan melalui representasi sistem yang berinteraksi berdasarkan aturan transisi. Kemampuan ini menjadi semakin optimal ketika CA diintegrasikan dengan metode kecerdasan buatan seperti *Artificial Neural Network (ANN)*. ANN berperan dalam mengidentifikasi pola historis perubahan penggunaan lahan dari data spasial dan atribut terkait, sehingga mampu menghasilkan aturan transisi yang lebih adaptif dalam proses simulasi CA atau prediksi pengembangan (Krivoguz, 2024). Kolaborasi antara CA dan ANN memberikan keunggulan dalam hal akurasi prediktif serta sensitivitas terhadap faktor-faktor eksternal, seperti pertumbuhan penduduk, perubahan kebijakan, struktur ruang (jalan) dan tekanan lingkungan. Dengan demikian, integrasi kedua pendekatan ini menggambarkan kerangka kerja yang kuat dan berbasis data untuk analisis dinamika penggunaan lahan serta mendukung perumusan kebijakan tata ruang yang berkelanjutan ataupun evaluasi kebijakan tata ruang yang telah ditetapkan (Hapsary et al., 2021). Data peta spasial yang digunakan dalam penelitian adalah peta spasial tutupan lahan tahun 2015 dan tahun 2020. Tahapan pemodelan dan prediksi pengembangan kawasan pada penelitian sebagai berikut.

1. Tahapan pertama adalah persiapan data raster, memasukkan data peta tutupan lahan dan faktor pendorong dalam analisis penelitian ini struktur ruang dan pusat pertumbuhan. Data ini diolah dalam QGIS melalui proses digitasi, georeferensi, dan pengelolaan atribut, serta mengecek geometri antar data raster sehingga menghasilkan layer-layer spasial yang siap dianalisis (Pradono & Wibowo, 2024; Riyandi et al., 2023).

2. *Evaluating Correlation* merupakan tahap untuk mengetahui korelasi antar variable pendorong dengan *pearson's correlation*, Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana variabel-variabel pendorong, seperti jarak ke jalan, atau kedekatan dengan pusat aktivitas, memiliki keterkaitan dengan perubahan penggunaan lahan. Melalui analisis korelasi, digunakan dalam menentukan variabel mana yang memiliki pengaruh signifikan dan layak digunakan sebagai input dalam proses analisis. Korelasi yang kuat menunjukkan bahwa suatu variabel memiliki peran penting dalam memengaruhi dinamika spasial, sehingga keberadaannya akan meningkatkan akurasi model dalam memprediksi perubahan di masa depan, serta menjadi dasar dalam membangun model CA-ANN yang representatif terhadap kondisi eksisting di lapangan (Hapsary et al., 2021; Kondum et al., 2024).
3. *Area change* merupakan tahapan untuk menghasilkan output berupa tabel perubahan luas untuk setiap kategori tutupan lahan, yang menggambarkan seberapa besar peningkatan atau penurunan luas pada masing-masing klasifikasi tutupan lahan yang digunakan dalam penelitian dalam kurun waktu tertentu.
4. *Transition Potential Modelling* merupakan tahapan yang berfungsi untuk memetakan potensi atau kemungkinan suatu sel di permukaan spasial mengalami perubahan dari satu jenis penggunaan lahan ke jenis lainnya, berdasarkan pengaruh dari variabel-variabel pendorong yang telah dianalisis. Penelitian ini menggunakan pengaturan *neighbourhood 1 px*, *learning rate 0,010*, *maximum iterations 100*, *hidden layers 5* dan *momentum iterations 0,050*. Tahap ini memastikan bahwa proses simulasi didasarkan pada pola empiris yang tercermin dari data historis dan variable pendorong yang memengaruhi dinamika perubahan tutupan lahan.
5. *Cellular Automata Simulation* merupakan proses pembangunan model prediksi perubahan penggunaan lahan berdasarkan parameter spasial yang telah ditetapkan sebelumnya. Dalam tahap ini, proyeksi tahun prediksi dihitung dengan menambahkan rentang waktu terhadap tahun awal simulasi. Sebagai ilustrasi, data awal yang digunakan dalam penelitian adalah 2015 dan 2020 dengan rentang waktu yang ditentukan adalah 5 tahun, maka simulasi akan menghasilkan prediksi untuk rentang waktu 5 tahun berdasarkan data series yang digunakan, kemudian proses penentuan dengan jumlah iterasi sebanyak empat kali untuk mendapatkan analisis 20 tahun mendatang yang terhitung dari data tahun 2020. Jumlah iterasi merepresentasikan frekuensi penerapan aturan transisi dalam rentang waktu tertentu. Dengan demikian, proses simulasi ini memungkinkan pemodelan perubahan penggunaan lahan dalam berbagai skenario temporal, serta memberikan fleksibilitas dalam memproyeksikan dinamika spasial berdasarkan kebutuhan perencanaan jangka pendek maupun jangka panjang.
6. *Model Validation*, MOLUSCE menyediakan fitur validasi dengan membandingkan hasil prediksi dengan data aktual pada tahun tertentu. Validasi dilakukan menggunakan matriks konfusi dan perhitungan nilai kappa, yang mengukur tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan data referensi. Untuk mengukur akurasi hasil klasifikasi atau pemetaan habitat mollusca, digunakan uji validitas dengan nilai kappa (Cohen's kappa). Rumus nilai kappa adalah:

$$[\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}]$$

Dimana, (P_o) adalah proporsi kesepakatan yang diamati (*observed agreement*), sedangkan (P_e) adalah proporsi kesepakatan yang diharapkan secara kebetulan (*expected agreement by chance*). Adapun nilai kappa berkisar dari -1 hingga 1, dengan interpretasi yang disajikan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Nilai Kappa

Nilai Kappa	Keterangan
<0	Ketidaksesuaian (Poor)
0,01 – 0,20	Kesesuaian sangat rendah (slight)
0,21 – 0,40	Kesesuaian cukup (Fair)
0,41 – 0,60	Kesesuaian sedang (Moderate)
0,61 – 0,80	Kesesuaian kuat (Substantial)
0,81 – 1,00	Kesesuaian sangat tunggu (Almost Perfect agreement)

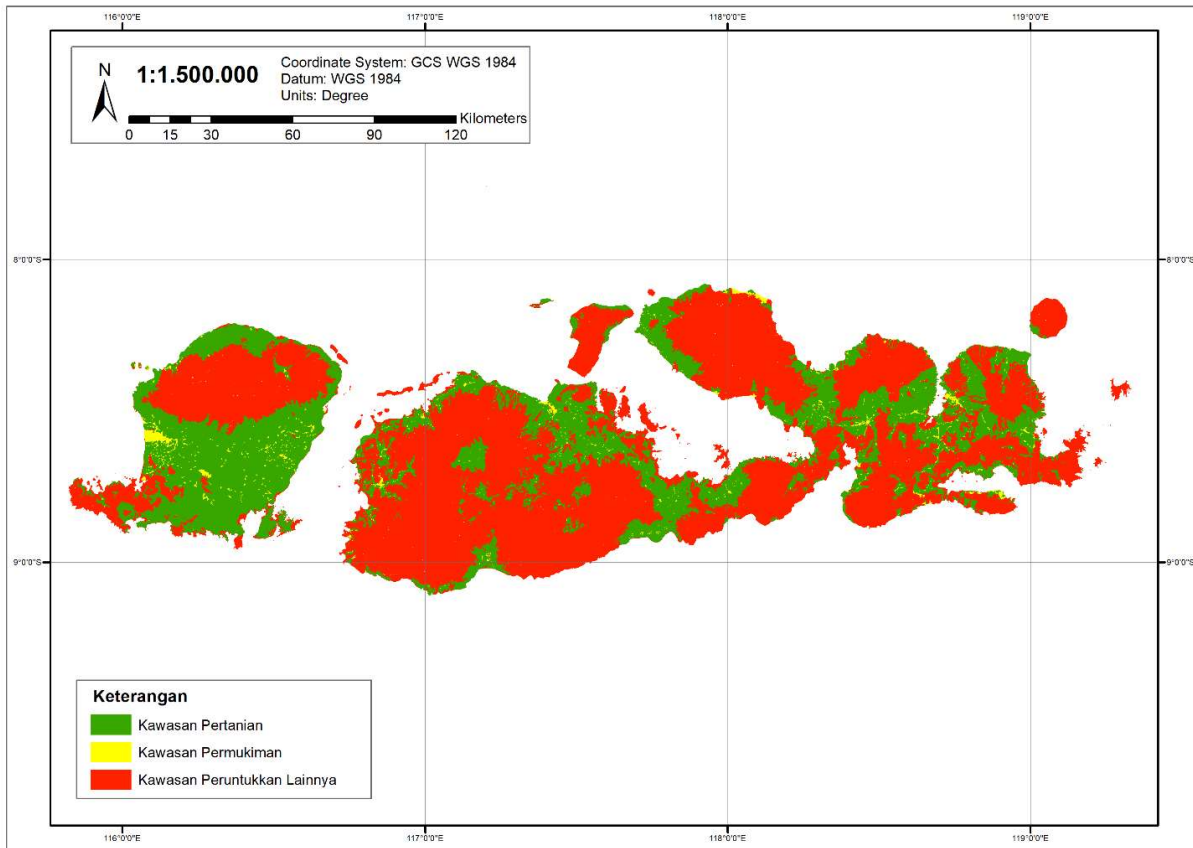
Sumber : Farizkhar et al., (2022)

Parameter validitas kappa dipengaruhi oleh distribusi kategori (prevalensi), bias antar penilai, dan ukuran sampel. Nilai kappa yang tinggi menunjukkan hasil klasifikasi atau pemetaan yang valid dan dapat diandalkan, sedangkan nilai rendah menandakan perlunya perbaikan pada metode atau data yang digunakan (Admas et al., 2024). Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk peta tematik, yang dapat digunakan untuk melihat zona yang berpotensi teralih fungsi lahan dalam rentang waktu 20 tahun hasil prediksi yang dilakukan (Pradono & Wibowo, 2024; Sari et al., 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perkembangan Kawasan Permukiman

Prediksi perubahan lahan permukiman dapat dilakukan secara efektif dengan memanfaatkan plugin MOLUSCE yang tersedia pada perangkat lunak QGIS. Plugin ini memungkinkan integrasi berbagai metode pemodelan perubahan penggunaan lahan berbasis spasial, seperti *Artificial Neural Network*, *Logistic Regression*, *Weight of Evidence*, dan *Multi-Criteria Evaluation* (Muhammad et al., 2022). Proses prediksi dimulai dari analisis perubahan historis, perhitungan probabilitas transisi, hingga simulasi spasial untuk memproyeksikan distribusi lahan permukiman pada periode 20 tahun mendatang. Hasil yang diperoleh berupa peta prediksi serta matriks transisi yang menunjukkan potensi alih fungsi lahan ke penggunaan permukiman. Analisis data dilakukan dengan data dasar spasial peta tutupan lahan provinsi NTB tahun 2015 dan tahun 2020 dengan rentang waktu 5 tahun. Data tutupan lahan pada analisis penelitian dibagi menjadi 3 klasifikasi yaitu: (1) Kawasan Pertanian, (2) Kawasan Permukiman dan (3) Kawasan Peruntukkan lainnya, dan memberikan fokus pada perkembangan Kawasan Permukiman yang berpotensi mengalih fungsi Kawasan Pertanian yang menjadi subyek kebijakan KP2B. Penginterpretasian tutupan lahan 2015 dan 2020 disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Sumber : KLHK & DPUPR NTB, 2016

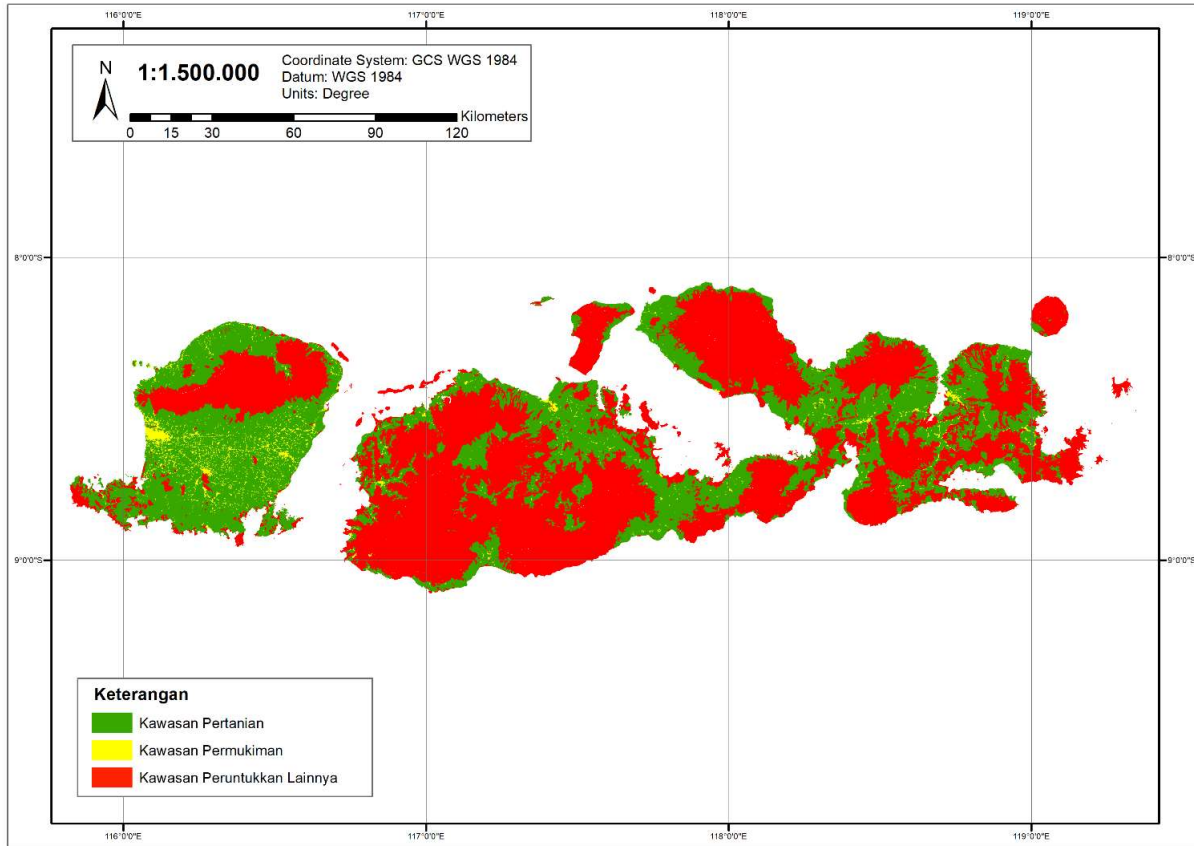
Gambar 2. Peta Tutupan Lahan Tahun 2015

Tabel 3. Luas Tutupan Lahan Tahun 2015

Tutupan Lahan	Luas	
	Ha	%
Kawasan Permukiman	27.877,53	1,38
Kawasan Pertanian	698.518,76	34,38
Kawasan Peruntukkan Lainnya	1.305.152,37	64,24
Total	2.031.548,66	100

Sumber : KLHK & DPUPR NTB, 2016

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa tutupan lahan Provinsi NTB pada tahun 2015 dengan luas 2.031.548,66 Ha yang dalam penelitian terbagi menjadi 3 klasifikasi diantaranya yang paling dominan yaitu kawasan peruntukkan lainnya terdiri dari hutan, tanah terbuka, semak belukar, danau, tambak, bandar udara dan pertambangan yang secara total memiliki luas 1.305.152,37 Ha atau sebesar 64,24% dari total luasan tutupan lahan. Kemudian, Kawasan Pertanian memiliki luas 698.518,76 Ha atau secara presentase sebesar 34,38% dan yang terakhir Kawasan Permukiman seluas 27.877,53 Ha yang dalam persentase paling kecil secara total luasan tutupan lahan yaitu sebesar 1,37%.



Sumber: KLHK & DPUPR NTB, 2022
Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Tahun2020

Tabel 4. Luas Tutupan Lahan Tahun 2020

Tutupan Lahan	Luas	
	Ha	%
Kawasan Permukiman	63.739,16	3,25
Kawasan Pertanian	701.164,77	35,67
Kawasan Peruntukkan Lainnya	1.200.767,80	61,08
Total	1.965.671,73	100,00

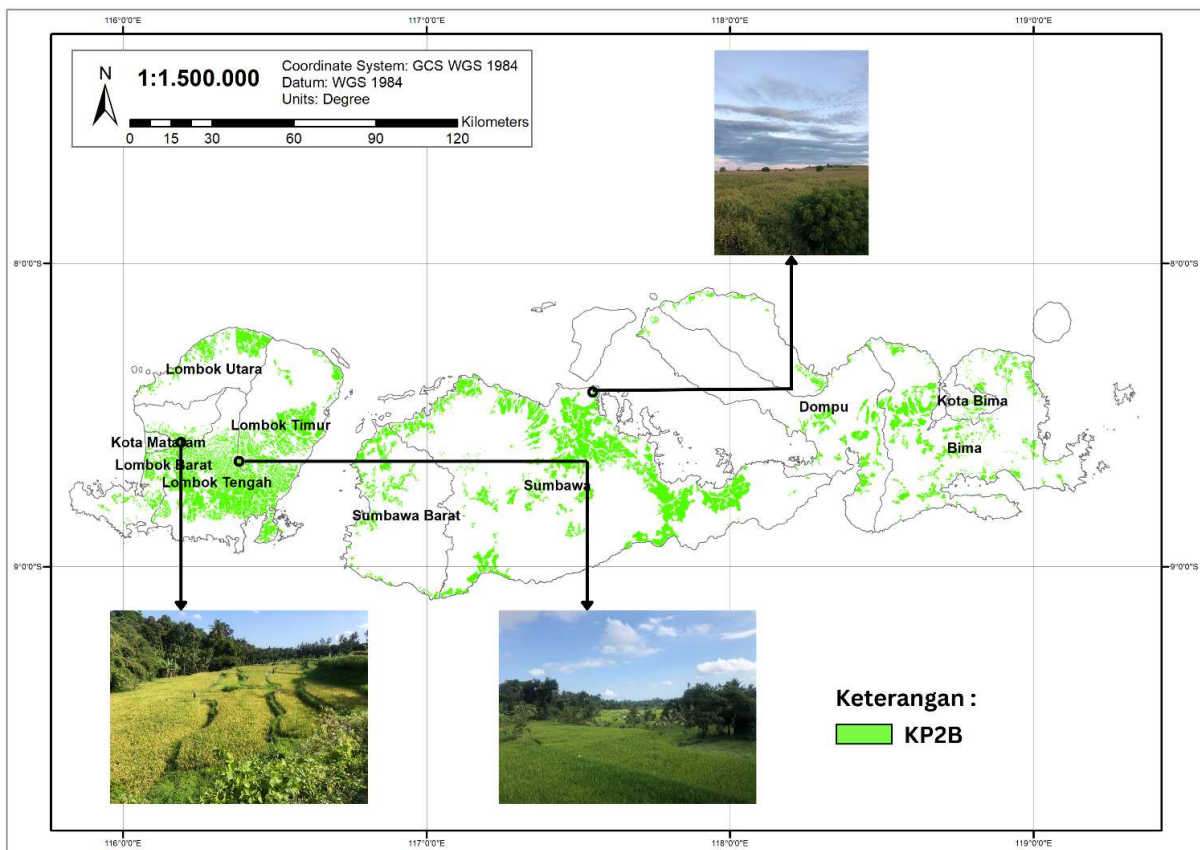
Sumber: KLHK & DPUPR NTB, 2022

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa tutupan lahan provinsi NTB pada tahun 2020 dengan luas 1.965.671,73 Ha yang dalam penelitian terbagi menjadi 3 klasifikasi diantaranya yang paling dominan yaitu kawasan peruntukkan lainnya terdiri dari hutan, tanah terbuka, semak belukar, danau, tambak, bandar udara dan pertambangan yang secara total memiliki luas 1.200.767,80 Ha atau sebesar 61,08% dari total luasan tutupan lahan. Kemudian, Kawasan Pertanian memiliki luas 701.164,77 Ha atau secara presentase sebesar 35,67% dan yang terakhir Kawasan Permukiman seluas 63.739 Ha yang dalam persentase paling kecil secara total luasan tutupan lahan yaitu sebesar 3,24%.

3.2. Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B)

Penetapan lahan pertanian menjadi KP2B merupakan langkah strategis dalam upaya menjaga keberlanjutan fungsi lahan di tengah tekanan alih fungsi yang semakin masif. Berdasarkan hasil observasi lapangan, lahan-lahan yang ditetapkan sebagai KP2B di Provinsi NTB menunjukkan tingkat produktivitas

yang cukup tinggi, yang tercermin dari kondisi fisik lahan serta aktivitas pertanian yang masih berlangsung secara intensif. Secara spasial, pembagian KP2B seluas 282.067 hektar telah tercantum dengan baik dalam bentuk peta tematik, yang memperlihatkan sebaran kawasan pertanian yang diprioritaskan untuk dilindungi. Penetapan ini tidak hanya bertujuan untuk menjamin ketersediaan lahan bagi produksi pangan jangka panjang, tetapi juga sebagai bentuk perlindungan terhadap lahan produktif dari konversi menjadi lahan non-pertanian, seperti permukiman dan kawasan industri. Dengan demikian, kebijakan KP2B menjadi instrumen penting dalam mendukung ketahanan pangan daerah serta menjaga keseimbangan ekologis dan tata ruang wilayah. Hasil observasi lapangan serta interpretasi penetapan kebijakan tergambar dalam Gambar 4 berupa peta persebaran KP2B di Provinsi NTB dan orientasi hasil observasi lapangan yang ditetapkan menjadi KP2B.



Sumber : Dinas PUPR Provinsi NTB & Hasil Observasi Lapangan, 2024

Gambar 4. Peta Persebaran Delineasi KP2B dan kondisi lahan yang ditetapkan menjadi KP2B

Tabel 5. Luas Persebaran KP2B

Kabupaten/Kota	Luas	
	Ha	%
Lombok Barat	13.125,36	4,65
Lombok Tengah	42.700,17	15,14
Lombok Timur	41.283,77	14,64
Lombok Utara	12.475,12	4,42
Sumbawa	104.492	37,05
Sumbawa Barat	13.924	4,94
Dompu	13.101	4,64
Bima	38.458,37	13,63

Kabupaten/Kota	Luas	
	Ha	%
Kota Mataram	339	0,12
Kota Bima	2.164	0,77
Total	282.067	100,00

Sumber : DPUPR Provinsi NTB, 2024

Berdasarkan Tabel 5 luas KP2B di Provinsi NTB, terlihat adanya distribusi yang bervariasi antar wilayah disetiap Kabupaten/Kota. Kabupaten Sumbawa menempati posisi paling dominan dalam kontribusi luasan KP2B, dengan luas mencapai 104.492 hektar atau sekitar 37,05% dari total keseluruhan. Besarnya proporsi ini mencerminkan bahwa wilayah Sumbawa memiliki potensi pertanian yang sangat luas dan menjadi salah satu lumbung pangan penting di Provinsi NTB.

Berikutnya, Kabupaten Lombok Tengah dan Lombok Timur juga menunjukkan kontribusi yang signifikan terhadap total luasan KP2B di provinsi NTB, masing-masing seluas 42.700,17 ha (15,14%) dan 41.283,77 ha (14,64%). Kedua kabupaten ini dikenal sebagai wilayah dengan intensitas kegiatan pertanian yang tinggi, terutama dalam subsektor tanaman pangan dan hortikultura. Posisi strategis dan infrastruktur pendukung pertanian yang relatif berkembang turut mendukung status kedua kabupaten ini sebagai sentra pertanian di Pulau Lombok. Kabupaten Bima menempati urutan berikutnya dengan luas KP2B sebesar 38.458,37 ha atau 13,63%, yang juga menunjukkan peran penting wilayah ini dalam penyediaan lahan pangan, terutama di kawasan Pulau Sumbawa bagian timur. Selanjutnya, Kabupaten Sumbawa Barat, Dompu, Lombok Barat, dan Lombok Utara masing-masing berkontribusi di kisaran 4% hingga 5%, yang masih mencerminkan potensi yang cukup dalam mendukung ketahanan pangan dengan penyediaan lahan di Provinsi NTB.

Sementara itu, luasan KP2B terendah ditemukan di dua wilayah kota, yaitu Kota Mataram dan Kota Bima, dengan luasan masing-masing hanya 339 ha (0,12%) dan 2.164 ha (0,77%). Rendahnya proporsi KP2B pada kedua kota ini disebabkan oleh keterbatasan lahan pertanian akibat dominasi penggunaan lahan untuk permukiman, jasa, dan kegiatan non pertanian lainnya. Sebagai wilayah perkotaan, transformasi ruang secara cepat telah mengurangi potensi pertanian, sehingga alokasi KP2B pun relatif sangat kecil jika dibandingkan dengan wilayah kabupaten yang memiliki basis pertanian lebih kuat. Secara keseluruhan, pola distribusi KP2B ini memperlihatkan bahwa kebijakan perlindungan lahan pertanian di Provinsi NTB lebih banyak terfokus pada wilayah dengan karakteristik pertanian dan ketersediaan lahan yang masih luas. Hal ini menjadi penting dalam konteks ketahanan pangan daerah, mengingat konversi lahan pertanian ke non-pertanian cenderung lebih tinggi di wilayah yang mengalami tekanan pembangunan, terutama di daerah-daerah dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang pesat.

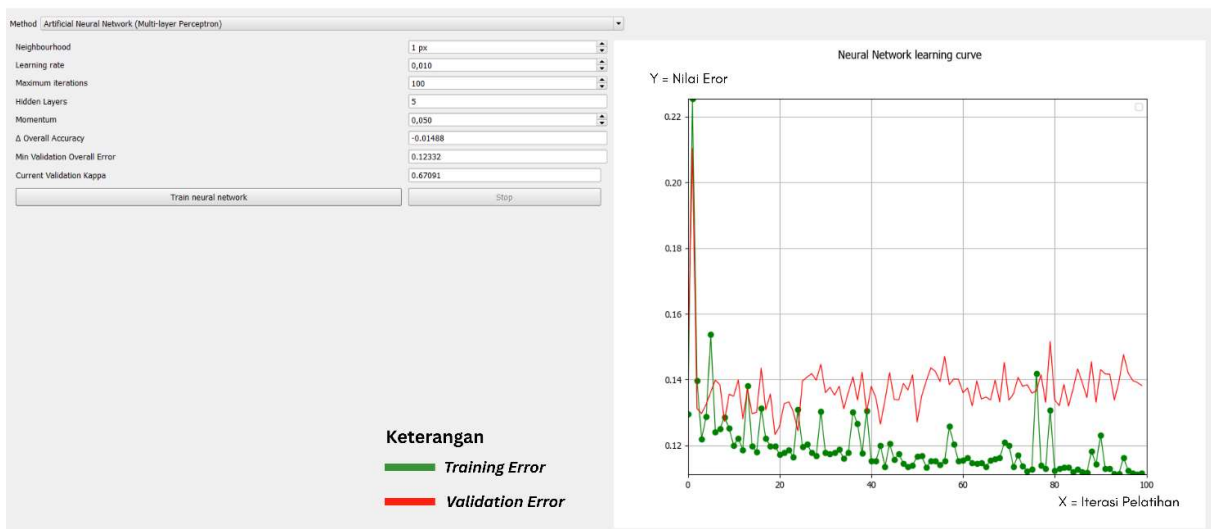
3.3. Prediksi Alih Fungsi Lahan pada KP2B

Peningkatan jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi di Provinsi NTB mendorong adanya potensi alihfungsi lahan terutama dari lahan pertanian dan hutan menjadi lahan Permukiman (Sinurat & Arifien, 2021). Data Dinas Pertanian dan Perkebunan Provinsi NTB tahun 2018-2022 menunjukkan rata-rata tahunan alih fungsi lahan pertanian menjadi non pertanian sekitar 11.000 Ha atau sebesar 5,2% dari luas total lahan pertanian sawah irigasi pada tahun 2018. Hal ini menjadi tantangan serius dalam upaya perlindungan KP2B, khususnya di Provinsi NTB, yang telah menetapkan kebijakan perlindungan KP2B sebagai instrumen utama pengendalian alih fungsi lahan yang telah terintegrasi dalam RTRW Provinsi NTB tahun 2024-2044.

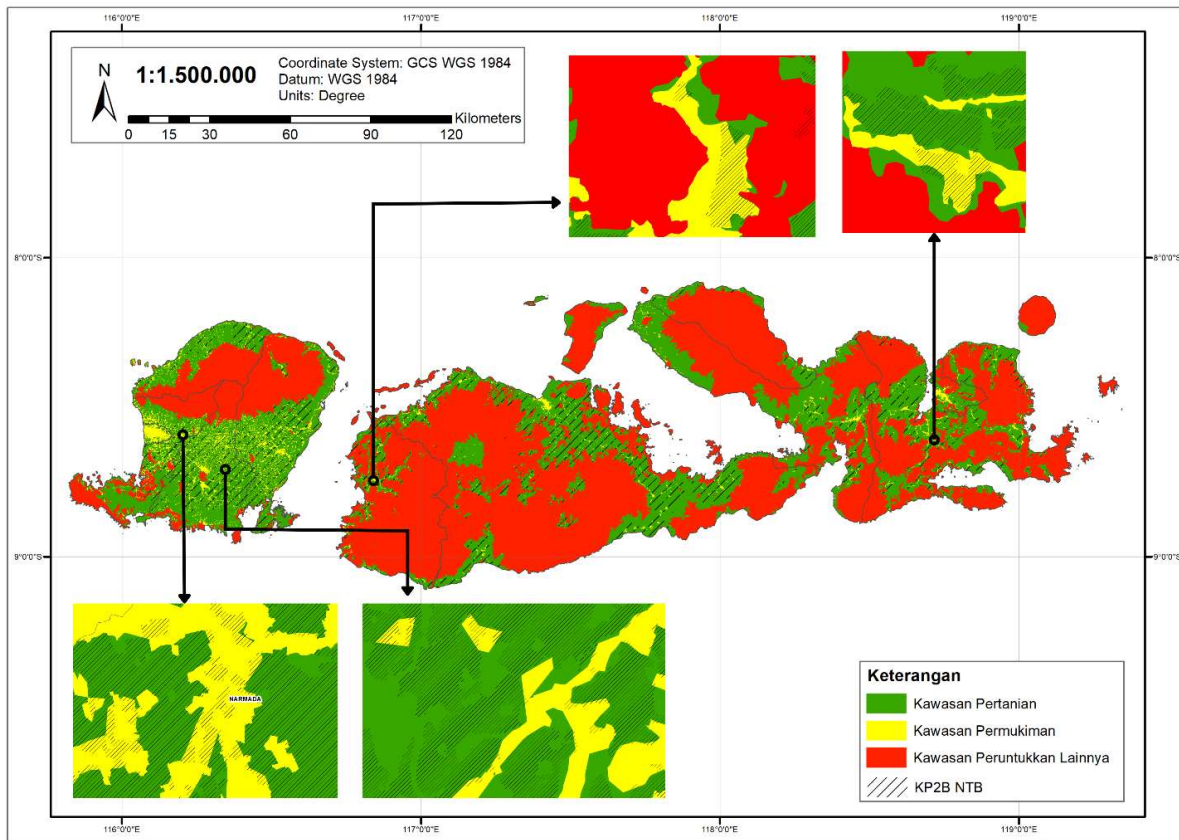
Pendekatan spasial-temporal berbasis data yang akurat diperlukan untuk menganalisis dinamika perubahan penggunaan lahan serta memproyeksikan potensi ekspansi kawasan permukiman hingga tahun 2040. Model CA-ANN mampu menghasilkan proyeksi perubahan penggunaan lahan beresolusi tinggi dengan menangkap kompleksitas dinamika melalui mekanisme pembelajaran adaptif (Zhao et al., 2024). Metode ini juga menawarkan fleksibilitas dalam mengakomodasi berbagai tipe data dan skala temporal, serta menyediakan informasi yang relevan untuk mendukung perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan (Lukas et al., 2023; Nie, 2024). Dengan demikian, CA-ANN dapat dipandang

sebagai pendekatan prediktif yang efektif dan andal dalam mendukung proses pengambilan keputusan pada konteks pengelolaan lingkungan dan pembangunan wilayah.

Nilai minimum validation overall error sebesar 0,12332 yang mengindikasikan tingkat kesalahan prediksi yang relatif rendah. Terdapat sedikit penurunan pada overall accuracy sebesar -0,01488 nilai negatif menunjukkan sedikit penurunan pada model saat ini. Grafik menunjukkan perbandingan nilai eror pada data latih (garis hijau) menurun secara konsisten dari sekitar 0,22 ke 0,11, yang berarti model semakin mampu mengenali pola data pelatihan dan data validasi (garis merah) nilainya relatif stabil di kisaran 0,13–0,14 dan tidak menurun signifikan yang menunjukkan bahwa selama proses iterasi model terlalu kompleks dan terlalu menyesuaikan diri dengan data latih sehingga kurang optimal dalam menggeneralisasi data baru. Meskipun demikian, nilai current validation Kappa sebesar 0,67091 menunjukkan tingkat kesesuaian yang berada pada kategori “substantial agreement” yang artinya model cukup representatif dalam memprediksi pola perubahan lahan. Informasi dapat dilihat pada Gambar 5 Hasil analisis dengan metode Artificial Neural Network. Hasil dari pemodelan ini diinterpretasikan dalam Gambar 6 yang menunjukkan adanya potensi alih fungsi lahan pada delineasi kebijakan KP2B menjadi kawasan permukiman dan menunjukkan hasil visual beberapa sampel prediksi yang tersebar di berbagai kabupaten di Provinsi NTB, dimana area berwarna kuning merupakan perluasan prediksi dan area berwarna kuning yang bertampalan dengan garis merupakan perluasan prediksi pada 2040 yang tumpang tindih dengan delineasi KP2B (area bersir kuning), dimana delineasi kebijakan KP2B ditandai dengan garis arsir.



Gambar 5. Hasil Analisis metode Artificial Neural Network



Gambar 6. Hasil Prediksi Pengembangan Kawasan Permukiman Provinsi NTB Tahun 2040

Tabel 6. Luas Tutupan Lahan Hasil Prediksi Pengembangan Kawasan Permukiman Provinsi NTB Tahun 2040

Tutupan Lahan	Luas	
	Ha	%
Kawasan Permukiman	111.848,80	5,69
Kawasan Pertanian	660.121,85	33,57
Kawasan Peruntukkan Lainnya	1.194.654,86	60,74
Total	1.966.625,51	100,00

Berdasarkan hasil analisis prediktif tutupan lahan tahun 2040 pada Tabel 6, ditemukan adanya perubahan signifikan pada pola penggunaan lahan, khususnya pada peruntukan kawasan permukiman. Hasil prediksi menunjukkan bahwa luas kawasan permukiman pada tahun 2040 mencapai 111.848,80 hektar atau sekitar 5,69% dari total wilayah yang dianalisis. Angka ini mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan dengan kondisi tahun 2020, di mana kawasan permukiman hanya mencakup luas sebesar 63.739 hektar. Peningkatan ini mencerminkan laju urbanisasi yang semakin tinggi dan tekanan terhadap lahan non-permukiman, terutama kawasan pertanian. Hasil Analisis menunjukkan kesamaan dengan penelitian terdahulu mengenai prediksi pengembangan dengan menggunakan metode *Cellular Automata dan Artificial Neural Network (CA ANN)* dengan lokus studi di wilayah peri-urban Kota Malang menunjukkan tren kenaikan signifikan pada kebutuhan dan luas kawasan permukiman. Studi tersebut menunjukkan proyeksi area terbangun mengalami peningkatan sebesar 12% dalam rentang waktu 10 tahun dengan prediksi kenaikan lebih lanjut sebesar 33,6% pada tahun 2030 dibandingkan kondisi tahun 2018 (Permana et al., 2021). Penelitian lainnya menunjukkan adanya ancaman signifikan terhadap keberlanjutan lahan pertanian akibat alih fungsi ke lahan non-pertanian, terutama permukiman dengan lokus studi di kawasan Sleman Barat yang memperlihatkan bahwa selama periode 2012–2022 terjadi penurunan luas sawah irigasi dan sawah tadah

hujan, yang sebagian besar beralih fungsi menjadi kawasan permukiman. Prediksi untuk 20 tahun ke depan (2022–2042) menunjukkan tren penurunan luas lahan pertanian akan terus berlanjut dengan proyeksi luas sawah irigasi. Kesamaan tren ini juga menegaskan relevansi penelitian terhadap isu strategis alih fungsi lahan yang disebabkan oleh perkembangan kawasan permukiman yang massif (Sarastika et al., 2023).

Analisis ini mengintegrasikan data RTRW Provinsi NTB sebagai acuan spasial dan normatif, sehingga prediksi yang dihasilkan tidak hanya menggambarkan tren pertumbuhan spasial berdasarkan dinamika historis, tetapi juga mengakomodasi arah kebijakan pengembangan dan pengendalian alih fungsi lahan melalui KP2B. Berdasarkan hasil prediksi, kawasan pertanian diperkirakan akan tetap mendominasi dengan luas mencapai 660.121,85 hektar atau sebesar 33,57%, sedangkan kawasan peruntukan lainnya meliputi 1.194.654,86 hektar atau sebesar 60,75%. Perubahan komposisi tutupan lahan ini menunjukkan potensi alih fungsi lahan yang cukup masif yang menggambarkan dinamika penggunaan lahan di masa mendatang.

Tabel 7. Indikasi/Proyeksi Alih fungsi Tutupan Lahan KP2B Tahun 2040

Tutupan Lahan Prediksi 2040	Luas	
	ha	%
Lombok Barat	462,60	18,22
Lombok Tengah	667,07	26,27
Lombok Timur	387,25	15,25
Lombok Utara	230,06	9,06
Sumbawa Barat	156,86	6,18
Sumbawa	39,05	1,54
Dompu	18,68	0,74
Bima	553,36	21,79
Kota Mataram	14,07	0,55
Kota Bima	10,56	0,42
Total NTB	2.539,56	100,00

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan Tabel 7 luas tutupan lahan berdasarkan hasil analisis prediksi pengembangan kawasan permukiman di Provinsi NTB tahun 2040, diproyeksikan terjadi alih fungsi lahan KP2B dengan total luas mencapai 2.539,50 hektar. Meskipun angka tersebut hanya setara dengan sekitar 0,9% dari keseluruhan luas KP2B yang telah ditetapkan, potensi dampaknya terhadap ketahanan pangan daerah tidak dapat diabaikan. Hasil tersebut, apabila diestimasi dengan rata-rata produktivitas panen padi provinsi NTB berkisar antara 5,3 hingga lebih dari 6 ton Gabah Kering Panen (GPK) per hektar, maka total luas berpotensi kehilangan produktivitas panen berkisar 13.459,35 ton hingga lebih 15.237 ton. Potensi kehilangan produktivitas panen padi sebesar 13.459,35 ton hingga 15.237 ton akibat alih fungsi lahan jelas termasuk dalam kategori yang mengganggu ketahanan pangan, hal ini dapat memperbesar ketergantungan pada impor beras atau mengancam stabilitas pasokan pangan dalam jangka panjang (Putra et al., 2024). Hal ini terutama berlaku apabila lahan yang terdampak merupakan lahan produktif dengan fungsi utama sebagai basis produksi pertanian. Alih fungsi lahan pertanian produktif ke penggunaan non-pertanian berpotensi mengurangi kapasitas produksi pangan secara signifikan, sehingga menimbulkan ancaman terhadap keberlanjutan pasokan pangan. Kondisi ini menjadi semakin strategis mengingat NTB ditetapkan sebagai salah satu lumbung pangan nasional yang memiliki peran penting dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Distribusi potensi alih fungsi lahan tersebut bervariasi antar kabupaten/kota, menunjukkan dinamika pertumbuhan permukiman yang cukup signifikan di wilayah tertentu. Kabupaten dengan potensi alih fungsi terbesar adalah Kabupaten Lombok Tengah dengan luas 667,07 hektar, diikuti oleh Kabupaten Bima seluas 553,36 hektar, Kabupaten Lombok Barat seluas 462,60 hektar, dan Kabupaten Lombok Timur seluas 387,25 hektar. Sementara itu, Kabupaten Lombok Utara memiliki potensi alih fungsi seluas 230,06 hektar, Kabupaten Sumbawa Barat 156,86 hektar, serta Kabupaten Sumbawa 39,05 hektar. Pada wilayah Dompu, proyeksi alih fungsi lahan relatif kecil, yakni 18,68 hektar, sedangkan Kota Mataram dan Kota Bima hanya mencapai 14,07 hektar dan 10,56 hektar.

Temuan ini menggambarkan bahwa tekanan terhadap KP2B di masa mendatang paling tinggi berada pada wilayah dengan intensitas perkembangan ekonomi dan kepadatan penduduk yang relatif tinggi, khususnya di Lombok Tengah, Bima, dan Lombok Barat. Ketiga Kabupaten tersebut memiliki peran strategis di Provinsi NTB serta di dukung dengan beberapa rencana struktur ruang jalan, dimana Kabupaten Lombok Tengah dengan adanya Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika, Kabupaten Lombok Barat menjadi wilayah penyangga perkotaan Kota Mataram serta Kabupaten Bima yang menjadi penyangga bagi Kota Bima (Amir et al., 2020). Kondisi tersebut berpotensi mengancam keberlanjutan ketahanan pangan daerah jika tidak diimbangi dengan strategi perlindungan lahan pertanian yang ketat dan implementasi kebijakan KP2B yang benar. Adanya alih fungsi lahan dalam skala signifikan juga mengindikasikan bahwa dinamika urbanisasi dan peningkatan kebutuhan ruang permukiman menjadi faktor dominan yang akan memengaruhi struktur tata ruang NTB di tahun 2040 (Kurniawan et al., 2020). Oleh karena itu, hasil prediksi ini perlu menjadi dasar pertimbangan dalam penyusunan kebijakan penataan ruang dan pengendalian pemanfaatan lahan serta menjadi bahan evaluasi dimasa mendatang terhadap kebijakan yang telah ditetapkan agar keseimbangan antara pembangunan permukiman dan keberlanjutan pertanian pangan dapat terjaga.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis prediksi menunjukkan adanya pengembangan kawasan permukiman yang berpotensi mengalih fungsi lahan KP2B yang menjadi instrument pengendalian alihfungsi lahan di Provinsi NTB yang telah diintegrasikan dalam RTRW Provinsi NTB dengan total luasan 282.062 hektar. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan signifikan kebutuhan lahan permukiman dalam 20 tahun ke depan. Pada tahun 2020, luas kawasan permukiman tercatat sebesar 63.739,16 hektar, sedangkan pada tahun 2040 diprediksi meningkat menjadi 111.848 hektar. Sementara itu, kawasan pertanian justru menunjukkan tren penurunan, yaitu dari 701.164,77 hektar pada tahun 2020 menjadi 660.121,85 hektar pada tahun 2040. Temuan ini menggambarkan adanya ancaman serius terhadap keberlanjutan lahan pertanian di NTB.

Kondisi lahan KP2B yang telah diintegrasikan dalam RTRW pada umumnya masih berproduksi dengan baik. Namun, proyeksi hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2040 terdapat sekitar 2.539,50 hektar lahan KP2B yang berpotensi mengalami alih fungsi akibat masifnya pengembangan kawasan permukiman. Potensi alih fungsi tersebut tersebar di 10 kabupaten/kota, sehingga dampaknya bersifat menyeluruh di tingkat provinsi dan tidak hanya terkonsentrasi di wilayah tertentu. Kondisi ini menegaskan adanya dilema kebijakan yang cukup kompleks. Di satu sisi, lahan KP2B harus dijaga keberlanjutannya karena berperan penting dalam menjamin ketahanan pangan daerah. Namun di sisi lain, kebutuhan pengembangan kawasan permukiman yang terus meningkat merupakan konsekuensi dari pertumbuhan penduduk, dinamika urbanisasi, serta tuntutan perkembangan ekonomi daerah.

Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan penting dalam perumusan aturan turunan dari RTRW yang implementatif untuk menjaga alih fungsi lahan serta evaluasi kebijakan penataan ruang di Provinsi NTB. Selain itu, pengawasan dan penegakan terhadap kebijakan tata ruang yang telah ditetapkan harus dipertegas dan kuat. serta penyediaan alternatif pengembangan kawasan permukiman yang tidak menekan lahan pertanian produktif. Keselarasan antara pembangunan ekonomi dan perlindungan sumber daya lahan harus menjadi pijakan utama agar arah pembangunan daerah tetap konsisten dengan prinsip keberlanjutan. Pada akhirnya, Penelitian ini tidak hanya menghasilkan peta prediksi pengembangan kawasan, tetapi juga menyajikan rekomendasi kebijakan yang berbasis pada hasil analisis empiris. Pemanfaatan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), khususnya melalui aplikasi QGIS, terbukti mampu mengidentifikasi serta memvisualisasikan pola perubahan lahan secara lebih akurat, sehingga informasi yang dihasilkan dapat dijadikan dasar sebagai pertimbangan perumusan perencanaan tata ruang yang berorientasi pada keberlanjutan, sehingga penelitian ini dapat memberikan kontribusi strategis terhadap perumusan dan evaluasi kebijakan untuk pengelolaan serta pemanfaatan tata guna lahan di Provinsi NTB.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak atas dukungan dari pihak yang mendukung yaitu Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan dan Pembangunan Sekolah Pascasarjana Universitas Brawijaya, Pemerintah Provinsi NTB (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Dinas Pertanian dan Perkebunan) serta seluruh pihak yang telah membantu kelancaran dan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian.

6. REFERENSI

- Admas, M., Melesse, A. M., & Tegegne, G. (2024). Predicting the Impacts of Land Use/Cover and Climate Changes on Water and Sediment Flows in the Megech Watershed, Upper Blue Nile Basin. *Remote Sensing*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/rs16132385>
- Amir, A., Sukarno, T. D., & Rahmawati, F. (2020). Identifikasi Potensi dan Status Pengembangan Desa Wisata di Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. *Journal of Regional and Rural Development Planning*. <https://doi.org/10.29244/JP2WD.2020.4.2.84-98>
- Farizkhar, Somantri, L., & Himayah, S. (2022). Pemanfaatan Object-Based Image Analysis (OBIA) pada Citra SPOT-6 untuk Identifikasi Jenis Penutup Lahan Vegetasi di Kota Bogor. *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*. <https://doi.org/10.21067/jpig.v7i1.6546>
- Hapsary, M. S. A., Subiyanto, S., & Firdaus, H. S. (2021). Analisis Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Dengan Pendekatan Artificial Neural Network Dan Regresi Logistik Di Kota Balikpapan. *Jurnal Geodesi Undip*, 10(April), 88–97.
- Ikhwanto, A. (2019). Alih Fungsi Lahan Pertanian Menjadi Lahan Non Pertanian. *Jurnal Hukum Dan Kenotariatan*. <https://doi.org/10.33474/HUKENO.V3i1.1919>
- Janti, G. I. (2016). Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan Guna Memperkokoh Ketahanan Pangan Wilayah (Studi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Jurnal Ketahanan Nasional*, 22(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jkn.16666>
- Khabibur Rahman, M. S., Rohsulina, P., & Hidayat, A. (2024). Assessing Regional Food Security: A Spatial Analysis of Food Carrying Capacity in Baki Subdistrict, Sukoharjo Regency-Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1317(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1317/1/012019>
- Kondum, F. A., Rowshon, M. K., Luqman, C. A., Hasfalina, C. M., & Zakari, M. D. (2024). Change Analyses and Prediction of Land Use and Land Cover Changes in Bernam River Basin, Malaysia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101281>
- Krivoguz, D. (2024). The Kerch Peninsula in Transition: A Comprehensive Analysis and Prediction of Land Use and Land Cover Changes over Thirty Years. *Sustainability (Switzerland)*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/su16135380>
- Kurniawan, S., Saputro, W. A., & Ayun, Q. (2020). Perkembangan Konversi Lahan Pertanian Di Bagian Negara Agraris. *Vigor: Jurnal Ilmu Pertanian Tropika Dan Subtropika*. <https://doi.org/10.31002/VIGOR.V5i2.3040>
- Lukas, P., Melesse, A., & Kenea, T. (2023). Prediction of Future Land Use/Land Cover Changes Using a Coupled CA-ANN Model in the Upper Omo-Gibe River Basin, Ethiopia. *Remote. Sens.*, 15, 1148. <https://doi.org/10.3390/rs15041148>
- Miranti, S. A., Setiadi, H., & Erthalia, M. (2020). Mapping Potential Area of Sustainable Food Agriculture Area in Somba Opu Sub-District, Gowa Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 436(1), 1–9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/436/1/012009>
- Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., & Gwiazdzinski, L. (2022). Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land11030419>
- Mustari, N., Madani, M., & Syawal, A. (2021). Implementasi Kebijakan Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan Di Kota Makassar. *JPPM: Journal of Public Policy and Management*. <https://doi.org/10.26618/jppm.v3i2.5941>
- Nie, Z. (2024). The Suitability Assessment for Land Territorial Spatial Planning Based on ANN-CA Model and the Internet of Things. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31237>
- Desmawan, D., Nuraisah, A., Mumtaz, A., Fadhilah, M. F., Aufa, F. S., & Malihati, L. (2024). Dampak Pengalihan Fungsi Lahan Pertanian Menjadi Lahan. *Bursa : Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, 3(2), 115–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.59086/jeb.v3i3.572>
- Permana, M., Sitorus, S. R. P., & Darmawan, D. (2021). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Prediksinya dengan Menggunakan Markov – Cellular Automata Di Wilayah Peri Urban Kota Malang. *TATALOKA*.

<https://doi.org/10.14710/tataloka.23.3.307-319>

- Pradono, K. A., & Wibowo, A. (2024). Kesesuaian Lahan PLTS dengan Spasial Multi-Criteria Analisis dalam Mendukung Pariwisata Berkelanjutan KEK Mandalika Lombok Tengah. *GEOGRAPHY: Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*. <https://doi.org/10.31764/geography.v12i2.24784>
- Putra, I. G., Iqbal, M., Bafih, A. R., & Wati, D. R. (2024). Impact of Rice Field Conversion Effectiveness on the Availability of Rice in Jakarta Province From 1981 to 2023. *Agricultural Science*. <https://doi.org/10.55173/agriscience.v8i1.149>
- Riyandi, S., Irsyad, A., Nurwahyu, F., & Nifansa, A. R. (2023). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Indomaret di Kecamatan Tenggarong Berbasis Quantum GIS. *Pengabdian Kepada Masyarakat Bidang Teknologi dan Sistem Informasi (PETISI)*. <https://doi.org/10.30872/petisi.v1i2.1066>
- Sarastika, T., Susena, Y., & Kurniawan, D. (2023). Prediksi Konversi Lahan Pertanian Berbasis Artificial Neural Network-Cellular Automata (ANN-CA) Di Kawasan Sleman Barat. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2023.010.2.30>
- Sari, S. O., Fazlina, Y. D., & Sugianto, S. (2022). Analisis Spasial Jasa Ekosistem Pendukung Pembentukan Lapisan Tanah dan Pemeliharaan Kesuburan Serta Siklus Hara untuk Daya Dukung dan Daya Tampung Lingkungan Hidup di Kabupaten Simeulue. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v7i1.18402>
- Sinurat, J., & Arifien, Y. (2021). Economic Growth and Deforestation: A Study of Changes in Land Coverage in West Nusa Tenggara Province. *Proceedings of the 2nd Borobudur International Symposium on Humanities and Social Sciences, BIS-HSS 2020, 18 November 2020, Magelang, Central Java, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.18-11-2020.2311708>
- Yusran, F., Razie, F., Fitri, R., & Hadi, A. (2023). Tingkat Implementasi Kebijakan Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan di Kecamatan Pelaihari Kabupaten Tanah Laut. *EnviroScienteeae*. <https://doi.org/10.20527/es.v19i4.17907>
- Zhao, J., Zhu, X., Zhang, F., & Gao, L. (2024). A Two-Layer SD-ANN-CA Model Framework for Multi-Typed Land Use and Land Cover Change Prediction under Constraints: Case Study of Ya'an City Area, Western China. *Land*. <https://doi.org/10.3390/land13050714>