Jurnal Jendela Inovasi Daerah
Badan Perencanaan Pembangunan, Riset dan Inovasi Daerah Kota Magelang
E-ISSN: 2621-8739
http://jurnal.magelangkota.go.id
Volume IX No. 2, Magelang, Agustus 2026, Hal. 41-55

PROYEKSI SPASIAL ALIH FUNGSI LAHAN SAWAH DAN ANALISIS FAKTOR PENDORONG UTAMA DI KOTA SUNGAI PENUH

Fadlan Saputra
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
e-mail: fadlansaputra@mail.ugm.ac.id

Article Info:
• Article submitted: 16 January 2026 ● Article received: 24 November 2026 ● Available online: 24 November 2026

ABSTRAK

Alih fungsi lahan sawah menjadi ancaman serius bagi ketahanan pangan lokal di Kota Sungai Penuh akibat pertumbuhan penduduk, perluasan kawasan permukiman, dan pembangunan infrastruktur. Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan alih fungsi lahan sawah hingga tahun 2045, menganalisis faktor pendorong utama, serta mengidentifikasi dampaknya terhadap ketahanan pangan daerah. Penelitian menggunakan metode kuantitatif deduktif dengan pendekatan analisis spasial melalui modul *Land Change Modeler* (LCM) pada perangkat lunak TerrSet. Data tutupan lahan diperoleh dari klasifikasi citra satelit Landsat 8 OLI tahun 2014, 2019, dan 2024, sedangkan faktor pendorong menggunakan data RTRW, DEMNAS, dan peta tematik lingkungan. Validasi model menunjukkan tingkat akurasi tinggi dengan nilai *Standard Kappa Index* sebesar 0,8862 dan *Kappa for Location* sebesar 0,9571. Hasil pemodelan memproyeksikan alih fungsi lahan sawah seluas 928 hektar (32,6%) pada periode 2024–2045, sehingga luas sawah tersisa diperkirakan 1.916 hektar pada tahun 2045. Faktor pendorong utama meliputi jarak dari jalan, jarak dari permukiman, dan kemiringan lereng. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan produksi padi lokal hingga 4.714 ton per tahun pada 2045. Oleh karena itu, diperlukan penegakan aturan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) secara ketat dan terintegrasi dalam RTRW Kota Sungai Penuh untuk mengendalikan alih fungsi lahan dan menjaga ketahanan pangan daerah.

Kata Kunci: Alih Fungsi Sawah, Ketahanan Pangan, Analisis Spasial, Land Change Modeler.

ABSTRACT

The conversion of paddy fields poses a serious threat to local food security in Sungai Penuh City due to population growth, the expansion of residential areas, and infrastructure development. This study aims to project paddy field conversion up to 2045, analyze its main driving factors, and identify its impacts on regional food security. The study employs a deductive quantitative method with a spatial analysis approach using the Land Change Modeler (LCM) module in TerrSet software. Land cover data were obtained from the classification of Landsat 8 OLI satellite imagery from 2014, 2019, and 2024, while the driving factors were derived from Regional Spatial Planning (RTRW) data, DEMNAS, and environmental thematic maps. Model validation indicates a high level of accuracy, with a Standard Kappa Index of 0.8862 and a Kappa for Location of 0.9571. The modeling results project a conversion of 928 hectares (32.6%) of paddy fields during the 2024–2045 period, leaving an estimated 1,916 hectares of remaining paddy fields by 2045. The main driving factors include distance from roads, distance from settlements, and slope gradient. This condition has the potential to reduce local rice production by up to 4,714 tons per year by 2045. Therefore, strict enforcement of Sustainable Food Agricultural Land (LP2B) regulations, integrated into the Sungai Penuh City Spatial Plan (RTRW), is necessary to control land conversion and maintain regional food security.

Keywords: Paddy Field Conversion, Food Security, Spatial Analysis, Land Change Modeler.

Copyright © 2026 by Authors, Published by Badan Perencanaan Pembangunan, Riset dan Inovasi Daerah Kota Magelang.
This open-access article is distributed under a Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International License.

A. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan pilar utama pembangunan nasional dan daerah. Namun, akselerasi pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan penduduk yang pesat di wilayah perkotaan sering kali berbenturan dengan keberadaan lahan pertanian produktif sesuai dengan teori sewa lahan (Alonso, 1964). Alih fungsi lahan sawah menjadi lahan terbangun (pemukiman, perdagangan, dan fasilitas umum) merupakan fenomena global yang dampaknya sangat terasa pada tingkat lokal sesuai dengan penelitian Gandharum et al. (2024), Dinar. (2023), Azadi et al. (2011), dan khususnya di kota-kota skala kecil dan sedang dengan ketersediaan lahan yang terbatas. Alih fungsi lahan dipengaruhi beberapa faktor seperti pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan peningkatan sarana transportasi (Allan et al., 2022).

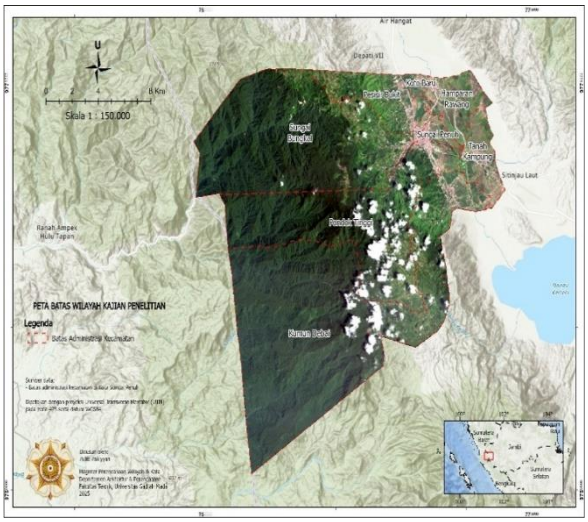
Di Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi, fenomena konversi lahan pertanian menunjukkan kecenderungan yang mengkhawatirkan. Berdasarkan data historis Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Sungai Penuh, dalam kurun waktu 2018 hingga 2024 telah terjadi penurunan produksi padi sebesar 4.548 ton (12,45%), dari 36.520 ton pada tahun 2018 menjadi 31.972 ton pada tahun 2024 (BPS Kota Sungai Penuh, 2019–2025, diolah). Penurunan produksi ini berbanding lurus dengan penyusutan luas panen sawah sebesar 894 Ha (14,8%) pada periode yang sama. Di sisi lain, jumlah penduduk Kota Sungai Penuh terus mengalami peningkatan sebanyak 12.280 jiwa dalam kurun waktu enam tahun tersebut. Ketidakseimbangan antara laju pertumbuhan penduduk yang membutuhkan ruang bermukim dengan ketersediaan lahan sawah produktif berpotensi memicu krisis ketahanan pangan lokal di masa mendatang (Godfray et al., 2010).

Meskipun kajian mengenai dinamika tutupan lahan *(Land Use/Land Cover* atau LULC) telah banyak dilakukan, sebagian besar studi terdahulu berfokus pada kawasan metropolitan skala besar atau pusat pertumbuhan ekonomi utama. Kajian pemodelan LULC berbasis skenario spasial pada kota berkembang terpencil (*small-medium inland city*) dengan keterbatasan topografi seperti Kota Sungai Penuh masih sangat terbatas.

Penelitian ini menerapkan metode pemodelan spasial menggunakan modul *Land Change Modeler* (LCM) pada software TerrSet. Penggunaan metode LCM dipilih karena keunggulannya yang mengintegrasikan algoritma *Multi-Layer Perceptron Neural Network* (MLP-NN). Pembelajaran mesin berbasis neural network ini seperti pada Entahabu et al. (2023), Leta et al. (2021), dan Islam et al. (2018) menegaskan keunggulan integrasi *Multi-Layer Perceptron Neural Network* dalam memprediksi transisi lahan non-linear dan mampu memodelkan potensi transisi spasial yang kompleks secara lebih presisi dibandingkan dengan model konvensional seperti Cellular Automata-Markov standar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memproyeksi alih fungsi lahan sawah hingga tahun 2045 pada skenario *Business as Usual* (BAU) serta mengkuantifikasi dampaknya terhadap ketahanan pangan daerah sebagai landasan perumusan kebijakan perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B).

B. METODE

Penelitian ini dilakukan di wilayah administrasi Kota Sungai Penuh (Gambar 1) dengan koordinat 101°14'0"–101°28'0" Bujur Timur (BT) dan 2°0'0"–2°16'0" Lintang Selatan (LS). Wilayah penelitian meliputi 8 kecamatan, antara lain Kecamatan Tanah Kampung, Kumun Debai, Sungai Penuh, Pondok Tinggi, Sungai Bungkal, Hamparan Rawang, Pesisir Bukit, dan Koto Baru.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Analisis Peneliti, 2025

Pelaksanaan pemodelan mengintegrasikan data spasial multi-sumber dan data non-spasial sekunder. Data spasial pendorong utama diturunkan dari peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Dinas PUPR Kota Sungai Penuh untuk ekstraksi variabel jarak jalan dan pemukiman, data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan resolusi 10 meter untuk variabel elevasi dan kelerengan, serta peta tematik curah hujan dari BMKG. Data non-spasial mencakup deret waktu statistik luas panen, produksi padi, dan jumlah penduduk yang diperoleh dari BPS Kota Sungai Penuh. Rincian seluruh variabel masukan data penelitian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1**.** Data Penelitian dan Variabel Input Spasial

No	Data Penelitian	Format / Jenis Data	Sumber Data	Peruntukan Analisis
1	Peta RTRW & Tematik Jalan/Pemukiman	Vector (Shapefile)	Dinas PUPR Kota Sungai Penuh	Ekstraksi Variabel Pendorong Jarak (*Euclidean Distance*)
2	Citra Satelit Landsat 8 OLI (2014, 2019, 2024)	Raster (30m x 30m)	USGS Earth Explorer	Klasifikasi & Deteksi Perubahan Tutupan Lahan (LULC)
3	DEMNAS (Digital Elevation Model)	Raster (10m)	Badan Informasi Geospasial (BIG)	Analisis Topografi (Elevasi & Kemiringan Lereng)
4	Data Curah Hujan Spasial	Raster / Tabular	BMKG / Stasiun Klimatologi	Variabel Pendorong Lingkungan/Iklim
5	Data Luas Panen, Produksi, & Penduduk	Tabular	BPS Kota Sungai Penuh	Analisis Dampak Ketahanan Pangan

Sumber: Analisis Peneliti

Analisis perubahan tutupan lahan historis memanfaatkan tiga seri perekaman citra satelit Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) *path/row* 127/062 untuk tahun 2014, 2019, dan 2024. Seluruh citra dipilih dengan tingkat tutupan awan kurang dari 10% untuk meminimalkan gangguan atmosferik. Spesifikasi teknis citra satelit yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Citra Satelit Landsat 8 OLI

Tanggal Perekaman	Path / Row	Resolusi Spasial	Sumber Data
22 Juni 2014	127 / 062	30 Meter	USGS Earth Explorer
18 Juli 2019	127 / 062	30 Meter	USGS Earth Explorer
5 Mei 2024	127 / 062	30 Meter	USGS Earth Explorer

Sumber: Analisis Peneliti

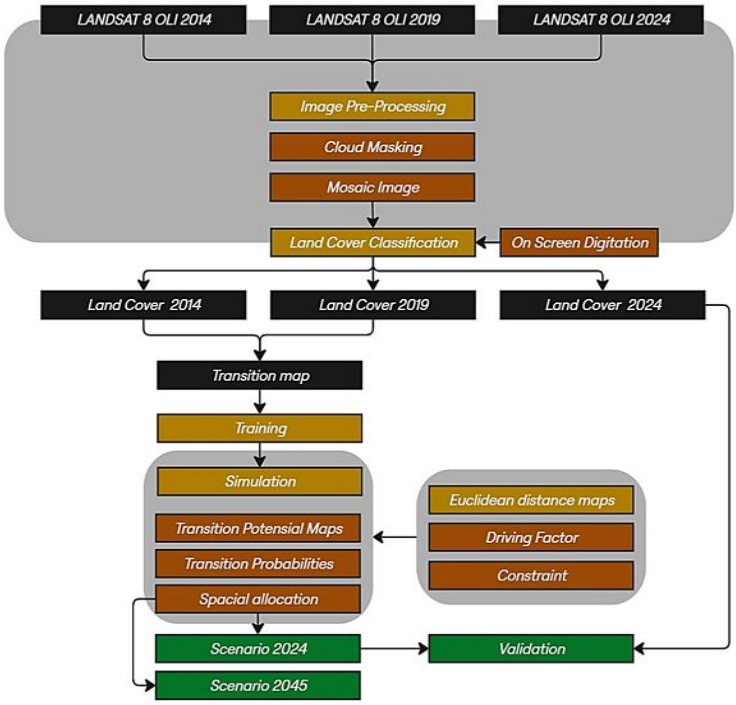
Tahap prapemrosesan citra meliputi koreksi radiometrik dan atmosferik untuk menyelaraskan nilai reflektansi antar-waktu perekaman. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Classification* (MLC) terbimbing (Lillesand et al. 2015) dengan mengelompokkan kenampakan piksel ke dalam empat kelas utama, yaitu lahan sawah, lahan terbangun, vegetasi non-sawah/kebun, dan badan air. Evaluasi akurasi hasil klasifikasi dilakukan melalui pengujian matriks kebingungan (*confusion matrix*) menggunakan sampel titik uji lapangan dan citra resolusi tinggi Google Earth Pro, di mana tingkat akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) harus mencapai nilai di atas 85% sebelum digunakan dalam pemodelan lanjutan.

Ekstraksi faktor pendorong spasial alih fungsi lahan dilakukan dengan memperhitungkan aspek aksesibilitas dan kondisi fisik wilayah. Variabel pendorong mencakup jarak *Euclidean* dari jalan utama/lingkungan, jarak dari pemukiman eksisting, jarak dari jaringan sungai, serta variabel topografi berupa elevasi dan kemiringan lereng yang diturunkan dari DEMNAS. Kekuatan pengaruh relatif dari setiap variabel pendorong terhadap sub-model transisi lahan sawah diuji menggunakan statistik Cramer's V dalam kerangka pemodelan spasial.

Pemodelan potensi transisi dan proyeksi tutupan lahan dijalankan menggunakan modul *Land Change Modeler* (LCM) pada perangkat lunak TerrSet. Metode ini memanfaatkan jaringan syaraf tiruan Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLP-NN) seperti pada Xing et al. (2018), dan Perez-Vega et al. (2012) untuk memetakan potensi transisi spasial kompleks secara non-linear berdasarkan pengaruh variabel pendorong. Proses validasi spasial dilakukan dengan memprediksi tutupan lahan tahun 2024 menggunakan data historis 2014-2019, kemudian membandingkan hasil prediksi tersebut dengan peta eksisting tahun 2024

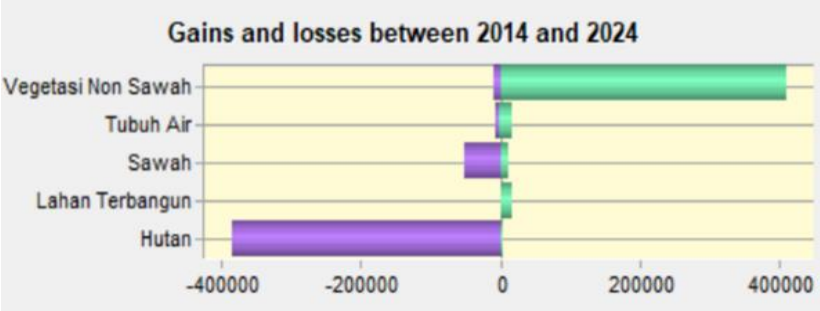
melalui uji statistik indeks Kappa, mencakup *Standard Kappa Index* dan *Kappa for Location* (Pontius & Millones, 2011). Setelah kriteria validasi terpenuhi, pemodelan berbasis rantai Markov dijalankan untuk memproyeksi alih fungsi lahan sawah pada skenario *Business as Usual* (BAU) hingga tahun 2045. Seluruh alur kerja metodologi penelitian secara skematis dirangkum pada Gambar 2.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

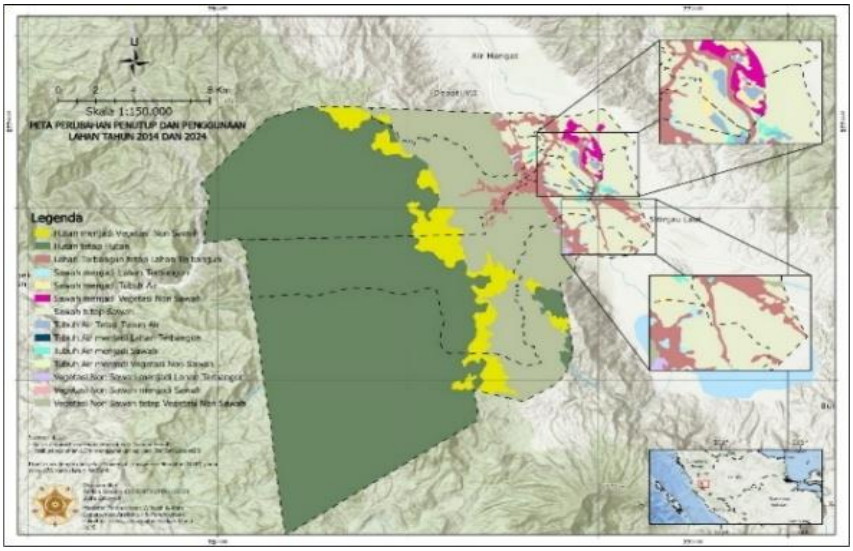


Gambar 2. Tahapan Analisis Proyeksi Perubahan LULC
Sumber: Analisis Peneliti

Berdasarkan hasil analisis klasifikasi citra satelit Landsat 8 OLI periode 2014 hingga 2024, Kota Sungai Penuh mengalami dinamika perubahan tutupan lahan *(Land Use/Land Cover)* yang sangat signifikan. Persebaran spasial perubahan tutupan lahan historis ini ditampilkan secara eksplisit pada Gambar 3, sedangkan tren kuantitatif pergeseran luas antar-kelas tutupan lahan disajikan pada Gambar 4. Peningkatan luas wilayah terjadi secara dramatis pada kelas lahan terbangun dan vegetasi non-sawah, yang berbanding terbalik dengan penurunan luas lahan sawah produktif dan kawasan hutan.



Gambar 3. Analisis perubahan tutupan lahan 2014-2024
Sumber: Hasil Analisis Peneliti



Gambar 4. Perubahan tutupan lahan 2014-2024
Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Sebagaimana teridentifikasi pada Gambar 3 dan Gambar 4, sepanjang periode sepuluh tahun tersebut (2014-2024) lahan terbangun mengalami peningkatan sebesar 10,72% (139 Ha) dan vegetasi non-sawah/kebun bertambah sebesar 32,4% (2.321 Ha). Penambahan luas kawasan terbangun dan kebun ini menyerap lahan sawah secara masif, di mana lahan sawah mengalami penyusutan sebesar 12,73% (415 Ha) dari luas semula, sedangkan kawasan hutan berkurang sebesar 8,67% (2.142 Ha). Konversi lahan sawah ini secara spasial terkonsentrasi di wilayah hamparan flat yang berdekatan dengan koridor jalan utama dan pemukiman eksisting.

Pengujian kekuatan variabel pendorong spasial (*explanatory power test*) terhadap perubahan tutupan lahan sawah diuji menggunakan statistik Cramer's V pada modul *Land Change Modeler* (LCM). Nilai *Cramer's V* berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 mengindikasikan tingkat pengaruh variabel yang semakin kuat terhadap transisi lahan.

Tabel 3. Evaluasi Daya Jelasi Faktor Pendorong Spasial (Cramer's V)

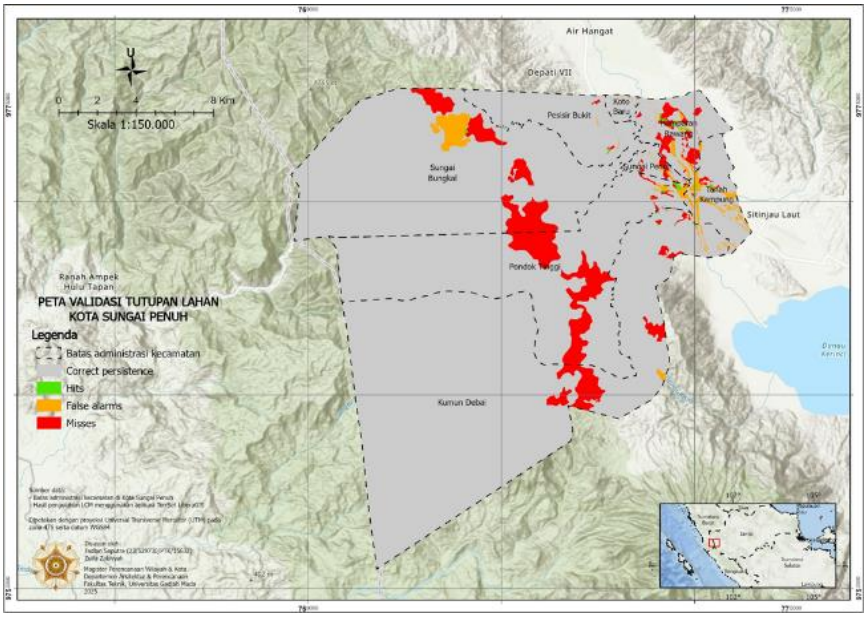
Sub-Model Transisi Lahan	Rate Akurasi (%)	Variabel Pendorong Spasial	Nilai *Cramer's V*	Tingkat Pengaruh Spasial
Sawah - Lahan Terbangun	95,48%	Jarak dari Jalan	0,89	Sangat Tinggi (Utama)
		Elevasi Ketinggian	0,88	Sangat Tinggi
		Jarak dari Pemukiman	0,83	Sangat Tinggi
		Kemiringan Lereng	0,69	Tinggi
		Curah Hujan Spasial	0,68	Tinggi
Sawah - Vegetasi Non-Sawah	80,58%	Kemiringan Lereng	0,91	Sangat Tinggi (Utama)
		Jarak dari Jalan	0,89	Sangat Tinggi
		Jarak dari Pemukiman	0,89	Sangat Tinggi
		Elevasi Ketinggian	0,76	Tinggi
		Curah Hujan Spasial	0,69	Tinggi
Vegetasi Non-Sawah -Lahan Terbangun	97,20%	Jarak dari Jalan	0,87	Sangat Tinggi
		Jarak dari Pemukiman	0,87	Sangat Tinggi
		Elevasi Ketinggian	0,80	Sangat Tinggi
		Curah Hujan Spasial	0,80	Sangat Tinggi

Sumber: Hasil Analisis Peneliti (2025)

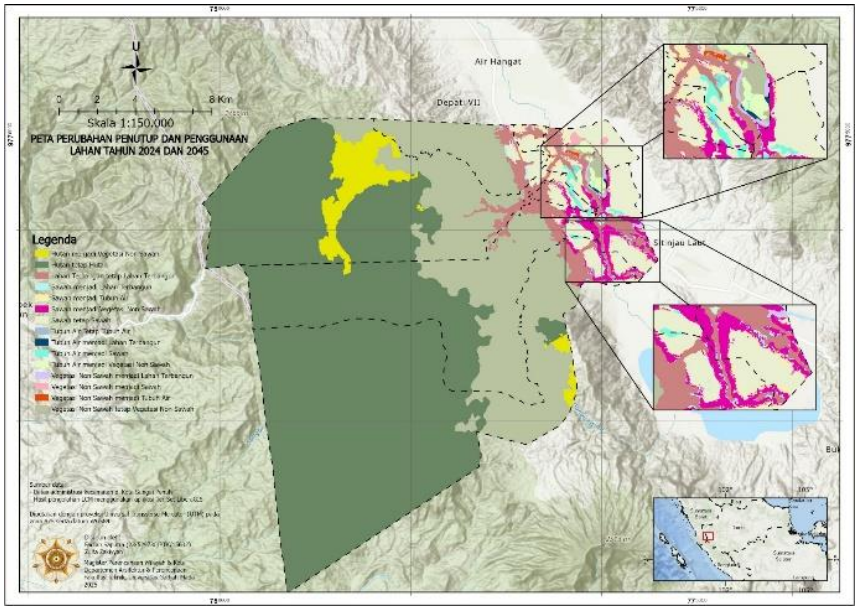
Berdasarkan Tabel 3, konversi lahan sawah menjadi lahan terbangun paling dominan didorong oleh jarak dari jalan (Cramer's V = 0,89) dengan tingkat akurasi sub-model mencapai 95,48%. Sementara itu, konversi sawah menjadi vegetasi non-sawah paling dipengaruhi oleh kemiringan lereng (0,91) dan jarak dari jalan (0,89). Temuan ini menegaskan bahwa kemudahan aksesibilitas transportasi dan karakteristik topografi fisik merupakan penentu utama arah alih fungsi lahan sawah di Kota Sungai Penuh.

Sebelum proyeksi tahun 2045 dijalankan, validasi spasial dilakukan dengan membandingkan peta tutupan lahan tahun 2024 hasil simulasi model (berdasarkan

tren 2014–2019) terhadap peta tutupan lahan 2024 eksisting/aktual yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Validasi Tutupan Lahan 2024
Sumber: Analisis Peneliti



Gambar 6. Perubahan tutupan lahan 2024-2045
Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Hasil evaluasi visual dan statistik pada Gambar 5 menunjukkan kesesuaian spasial yang sangat tinggi dengan indikator Kappa Index meliputi *Standard Kappa Index* sebesar 0,8862, *Kappa for No Ability* sebesar 0,9358, dan *Kappa for Location* sebesar 0,9571. Total kesalahan model (total disagreement) sangat rendah yaitu hanya 5,5% (kesalahan kuantitas 3,6% dan kesalahan lokasi 1,9%), sehingga model terbukti sangat valid untuk simulasi jangka panjang. Proyeksi tutupan lahan tahun 2045 berbasis skenario Business as Usual (BAU) disajikan secara spasial pada Gambar 6 dan dirangkum secara kuantitatif pada Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi Perubahan Tutupan Lahan Kota Sungai Penuh (2024–2045)

Tutupan Lahan	**2024**		**2045**	
	Luas (Ha)	**Ratio (%)**	**Luas (Ha)**	**Ratio (%)**
Hutan	22.714,88	62,2	21.421,83	58,65
Lahan Terbangun	1436	3,9	1.587	4,35
Sawah	2844	7,8	1.916	5,25
Tubuh Air	297	0,8	387	1,01
Vegetasi Non Sawah	9201	25,2	9.731	30,75

Sumber: Hasil Analisis Peneliti

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 6, pada tahun 2045 lahan sawah diproyeksikan mengalami penyusutan drastis sebesar 928 Ha (32,63%), sehingga luas lahan sawah yang tersisa diperkirakan kurang dari 1.916 Ha. Penurunan lahan sawah ini dikonversi secara bertahap menjadi vegetasi non-sawah/kebun seluas 649,96 Ha, tubuh air seluas 342,41 Ha, dan langsung menjadi lahan terbangun seluas 93,13 Ha. Pola ini menunjukkan adanya transisi dua tahap, di mana lahan sawah terlebih dahulu dialihfungsikan menjadi kebun/vegetasi non-sawah sebelum akhirnya ditransformatikan menjadi kawasan pemukiman terbangun.

Penurunan luas baku lahan sawah sebesar 928 Ha hingga tahun 2045 membawa implikasi serius terhadap kapasitas produksi beras lokal Kota Sungai Penuh sama hal nya seperti studi Molla et.al. (2024) yang menumakan adanya penurunan lahan pertanian di Kota Hwasan, Ethiopia. Berdasarkan data historis BPS Kota Sungai Penuh, produktivitas rata-rata lahan sawah berada pada angka 5,08 ton per hektar. Dengan mengalikan luas konversi lahan sawah (928 Ha)

terhadap produktivitas rata-rata daerah (5,08 ton/Ha), diproyeksikan bahwa Kota Sungai Penuh akan mengalami kehilangan potensi produksi padi sebesar 4.714 ton per tahun pada tahun 2045. Penurunan produksi padi secara masif ini berbenturan dengan lonjakan jumlah penduduk yang terus bertambah (meningkat sebesar 12.280 jiwa dalam periode 2018–2024 saja), Fenomena ini berpotensi merusak daya dukung pertanian dan memperlebar defisit pangan daerah (Harini et al., 2025), sekaligus meningkatkan ketergantungan pada impor beras dari luar wilayah akibat belum optimalnya pengendalian kebijakan konversi lahan (Handayani et al., 2018).

Temuan pemodelan skenario BAU ini merepresentasikan kondisi *Anti-Planning* atau *Laissez-Faire*, di mana alokasi ruang diserahkan sepenuhnya pada mekanisme pasar tanpa regulasi perlindungan yang efektif. Secara teoretis, fenomena ini mengonfirmasi Teori Sewa Lahan Alonso (Alonso's Bid Rent Theory, 1964), yang menyatakan bahwa lahan dengan aksesibilitas tinggi (dekat koridor jalan) seperti pada penelitian Ustaoglu & Williams. (2018), dan Abass et al. (2018) yang mengalami dorongan nilai ekonomi (*land rent*) yang lebih tinggi untuk kegiatan non-pertanian. Hal ini memaksa lahan pertanian terdesak oleh penggunaan lahan yang memberikan tingkat pengembalian modal (*return*) lebih cepat.

Secara makro, keterbatasan lahan pertanian yang berbenturan dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,15% per tahun memicu fenomena Efek Gunting (Scissors Effect) Neo-Malthusian. Kurva kebutuhan pangan masyarakat meningkat secara linier-eksponensial, sementara basis lahan baku pertanian menyusut tajam hingga -32,6%. Temuan ini sejalan dengan hasil studi Leta et al. (2021) dan Larbi et al. (2019) pada wilayah berkembang lainnya, yang menyimpulkan bahwa tanpa adanya penegakan aturan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) yang ketat dalam RTRW, keberadaan lahan baku sawah akan tergerus habis oleh ekspansi fisik pemukiman.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pemodelan *Land Change Modeler* (LCM) berbasis skenario Business as Usual (BAU) memproyeksikan terjadinya alih fungsi lahan sawah di Kota Sungai Penuh seluas 928 hektar (32,63%) sepanjang periode 2024–2045, sehingga luas

baku lahan sawah yang tersisa pada tahun 2045 diperkirakan hanya sebesar 1.916 Ha. Konversi lahan ini paling dominan dipicu oleh faktor pendorong spasial berupa jarak dari jalan (Cramer's V = 0,89) dan jarak dari pemukiman (Cramer's V = 0,83), yang menegaskan bahwa aksesibilitas transportasi dan ekspansi fisik kawasan terbangun merupakan pemicu utama terdesaknya lahan pertanian. Penurunan luas lahan baku sawah tersebut berpotensi menurunkan kapasitas produksi padi lokal hingga 4.714 ton per tahun pada tahun 2045 berdasarkan perhitungan produktivitas rata-rata 5,08 ton/Ha, yang akan semakin memperlebar defisit pangan daerah di tengah tingginya laju pertumbuhan penduduk Kota Sungai Penuh.

Dalam rangka langkah mitigasi kebijakan, Pemerintah Kota Sungai Penuh perlu segera menetapkan secara eksplisit peta zonasi Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) yang memiliki kekuatan hukum mengikat dalam Peraturan Daerah RTRW, yang diimbangi dengan skema insentif bagi petani serta disinsentif tegas terhadap pelanggaran konversi lahan. Di samping itu, pemerintah daerah harus mengendalikan secara ketat pembentukan dan perluasan jaringan jalan lingkungan baru di sekitar kawasan hamparan sawah produktif guna menekan dorongan peningkatan nilai sewa lahan (land rent) non-pertanian.

Saran yang dapat disampaikan untuk pengembangan kajian selanjutnya adalah sebaiknya memodelkan skenario intervensi kebijakan melalui pembandingan antara skenario BAU, skenario perlindungan LP2B ketat, dan skenario pesimis. Selain itu, penelitian berikutnya juga perlu mengintegrasikan variabel iklim mikro, variabilitas curah hujan, serta analisis kelayakan ekonomi usahatani guna memperoleh gambaran resiliensi sistem pangan daerah yang lebih komprehensif dan holistik.

DAFTAR PUSTAKA

Abass, K., Adanu, S. K., & Agyemang, S. (2018). Peri-urbanisation and loss of arable land in Kumasi Metropolis in three decades: Evidence from remote sensing image analysis. *Land Use Policy*, 72, 470–479. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.013

Akdeniz, H.B., Sag, N.S. & Inam, S. (2023). Analysis of land use/land cover changes and prediction of future changes with land change modeler: Case of Belek, Turkey. *Environ Monit Assess* 195, 135. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10746-w

Alonso, W. (1964). *Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge: Harvard University Press.

Arif, M., Sengupta, S., Mohinuddin, S.K. *et al.* (2023). Dynamics of Land Use and Land Cover Change in Peri Urban Area of Burdwan City, India: a Remote Sensing and GIS Based Approach. *GeoJournal*, 88, 4189–4213. https://doi.org/10.1007/s10708-023-10860-3

Azadi, H., Ho, P. and Hasfiati, L. (2011). Agricultural Land Conversion Drivers: A Comparison Between Less Developed, Developing and Developed Countries. *Land Degradation & Development*, 22(6), 596-604. https://doi.org/10.1002/ldr.1037

Badan Pusat Statistik Kota Sungai Penuh. (2025). *Kota Sungai Penuh Dalam Angka 2025*. Sungai Penuh: BPS Kota Sungai Penuh.

Badan Pusat Statistik Kota Sungai Penuh. (2025). *Produksi Padi di Kota Sungai Penuh Tahun 2018-2024* [Tabel dinamis]. BPS Kota Sungai Penuh. https://sungaipenuhkota.bps.go.id/ diakses tanggal 17 Juli 2025.

Dinar, R. (2023). Analisis Ketersediaan Pangan Kabupaten Cirebon Tahun 2023-2043 Akibat El-Nino. *Jurnal Pertanian Agros*, 25(2), 2095-2101.

Entahabu, H. H., Minale, A. S., & Birhane, E. (2023). Modeling and Predicting Land Use/Land Cover Change Using the Land Change Modeler in the Suluh River Basin, Northern Highlands of Ethiopia. *Sustainability*, 15(10), 8202. https://doi.org/10.3390/su15108202.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2025). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2025*. Rome: FAO.

Gandharum, L., Hartono, D.M., Karsidi, A. *et al.* (2024). Past and Future Land Use Change Dynamics: Assessing The Impact of Urban Development on Agricultural Land in The Pantura Jabar Region, Indonesia. *Environ Monit Assess*, 196(645). https://doi.org/10.1007/s10661-024-12819-4

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818. https://doi.org/10.1126/science.1185383

Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting Land Use/Land Cover Changes Using a CA-Markov Model Under Two Different Scenarios. *Sustainability*, 10(10), 3421. https://doi.org/10.3390/su10103421

Handayani, S. W., Fauzan, M., & Nasihuddin, A. A. (2018). Conversion of Agricultural Land Policy in Indonesia. *Atlantis Press, Proceedings of the 5th International Conference on Community Development (AMCA 2018)*, 231, 252–254. https://doi.org/10.2991/amca-18.2018.69

Harini, R., Rijanta, R., Pangaribowo, E., Putri, R., & Sukri, I. (2025). Modeling The Effects of Land Use Change on Agricultural Carrying Capacity and Food Security. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 11(2), 533-554. https://doi.org/10.22034/gjesm.2025.02.10.

Islam, K., Rahman, Md. Farhadur, Jashimuddin, M. (2018). Modeling Land Use Change Using Cellular Automata and Artificial Neural Network: The Case of Chunati Wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 88, 439-453. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.01.047

Larbi, I., Forkuor, G., Hountondji, F. C. C., Agyare, W. A., & Annor, T. (2019). Predictive Land Use Change Simulation Under Business-As-Usual Scenario Using Land Change Modeler. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1–15.

Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Modeling and Prediction of Land Use Land Cover Change Dynamics Based on Land Change Modeler (LCM) in Nashe Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Sustainability*, 13(7), 3740. https://doi.org/10.3390/su13073740

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). New York: John Wiley & Sons.

Molla MB, Gelebo G and Girma G (2024). Urban Expansion and Agricultural Land Loss: a GIS-Based Analysis and Policy Implications in Hawassa City, Ethiopia. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1499804. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1499804

Perez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A. (2012). Comparing Two Approaches to Land Use/Cover Change Modeling and Forecasting: Land Change Modeler and Dinamica EGO. *Environmental Modelling & Software*, 34, 69–80.

Pontius, R. G., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: Birth of Quantity Matrix and Allocation Disagreement for Accuracy Assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407–4429.

Seto, K. C., Christensen, A., & Haushal, T. (2017). Global Forecasts of Urban Expansion to 2030 and Direct Impacts on Biodiversity and Carbon Pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 109(40), 16083–16088.

Ustaoglu, E., & Williams, B. (2017). Determinants of Urban Expansion and Agricultural Land Conversion in 25 EU Countries. *Environmental Management*, 60, 717-746. https://doi.org/10.1007/S00267-017-0908-2

Xing, H., Meng, Y., & Shi, Y. (2018). A Dynamic Human Activity-Driven Model for Land Use Change Simulation Using Multi-Layer Perceptron. *Spatial Statistics*, 27, 45–62.