Volume 7, Issue 1, 2025, 175 - 187
http://jurnal.uns.ac.id/jdk/article/view/91166
DOI: https://doi.org/10.20961/desa-kota.v7i1.91166.175-187
Copyright © 2025 The Authors

Desa-Kota
JURNAL PERENCANAAN WILAYAH, KOTA, DAN PERMUKIMAN
E-ISSN: 2656-5528

Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan pada Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan di Suburban Selatan Kota Surakarta Menggunakan Pemodelan Spasial

Land Use Changes Prediction in Sustainable Food Agriculture Areas in Southern Suburbs of Surakarta City using Spatial Modeling

Grafirati Mutiara Ayuningtias[1*], Tendra Istanabi[1,3], Erma Fitria Rini[1,2]
[1]Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
[2] Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory (JMRSL), Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University, Jepang
[3] Pusat Informasi dan Pengembangan Wilayah (PIPW), LPPM Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
**e-mail*: grafirati@student.uns.ac.id

(Received: July 25, 2024; Reviewed: September 1, 2024; Accepted: September 21, 2024)

Abstrak

Studi ini bertujuan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di kawasan suburban selatan Kota Surakarta menggunakan model Cellular Automata - Artificial Neural Network (CA-ANN). Penelitian ini mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perubahan penggunaan lahan, seperti kepadatan penduduk, faktor kegiatan, aksesibilitas, nilai tanah, dan topografi. Hasil penelitian menunjukkan perubahan signifikan dalam penggunaan lahan, dengan penurunan lahan pertanian dan peningkatan kawasan permukiman dan industri. Studi ini menyoroti dampak pembangunan perkotaan terhadap penggunaan lahan pertanian dan perlunya perencanaan perkotaan yang berkelanjutan untuk memastikan ketahanan pangan. Proses pemodelan spasial memprediksi perubahan penggunaan lahan di masa depan, sejalan dengan kebijakan Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B). Pengendalian dan pemanfaatan penggunaan lahan penting untuk menjaga stabilitas pertanian dan mencegah konversi ke penggunaan nonpertanian.

***Kata kunci**: CA-ANN; Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan; pemodelan spasial; perubahan penggunaan lahan*

Abstract

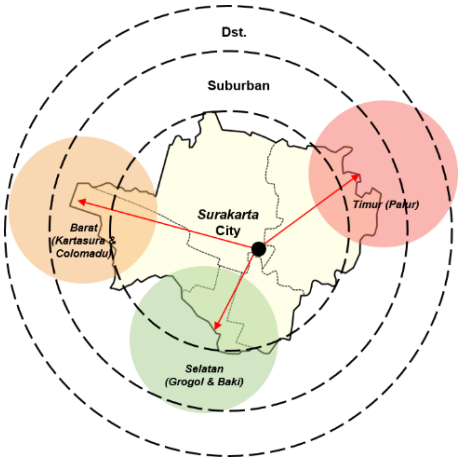
This study aims to predict land use changes in the southern suburban area of Surakarta City using a Cellular Automata - Artificial Neural Network (CA - ANN) model. The research identifies factors influencing land use changes, such as population density, activity, accessibility, land value, and topography. The results show significant changes in land use, with a decrease in agricultural land and an increase in residential and industrial areas. The study highlights the impact of urban development on agricultural land use and the need for sustainable urban planning to ensure food security. The spatial modeling process predicts future land use changes, aligning with the Sustainable Food Farming Area (KP2B) policy. Control and management of land use are essential to maintain agricultural stability and prevent conversion to non-agricultural uses.

***Keywords:** CA-ANN; land use change; spatial modeling: Sustainable Food Farming Land policy*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kota merupakan perubahan yang mencakup seluruh aspek kehidupan perkotaan baik yang bersifat sosial maupun fisik, seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan ruang (Pontoh & Kustiawan, 2008). Kebutuhan ruang mendesak perluasan kawasan perkotaan ke daerah pinggiran kota yang merupakan kawasan pendukung dengan kegiatan nonperkotaan, sehingga kawasan tersebut berubah menjadi pusat pertumbuhan baru. Perubahan kenampakan fisik dari proses perkembangan kota yang merembet ke wilayah luar pusat kota juga dapat disebut sebagai fenomena *urban sprawl* yang ditandai dengan pergeseran lahan pertanian (Brueckner & Fansler, 1983). Fenomena *urban sprawl* menjadi pemicu pembentukan interaksi antara wilayah kota dan wilayah di luarnya yang disebut sebagai *suburban,* yang memiliki karakteristik sebagai tempat tinggal atau permukiman (Forsyth, 2012). Kota Surakarta

telah mengalami perkembangan yang pesat hingga berdampak pada meluasnya pengaruh perkembangan perkotaan ke kawasan suburban sekitarnya sehingga membentuk pusat-pusat pertumbuhan baru di wilayah Timur (Kecamatan Jaten, Kabupaten Karanganyar), barat (Kecamatan Kartasura, Kabupaten Sukoharjo dan Kecamatan Colomadu, Kabupaten Karanganyar), dan selatan (Kecamatan Grogol dan Kecamatan Baki, keduanya di Kabupaten Sukoharjo) yang ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan pola dan struktur pertumbuhan ekonomi, pusat pertumbuhan baru di wilayah selatan Kota Surakarta merupakan wilayah yang cepat maju dan cepat tumbuh dibandingkan dengan wilayah lainnya (Wahyuhana & Botanri, 2017).



Gambar 1. Orientasi Wilayah Kota Surakarta dengan Sekitarnya

Perkembangan kota mendorong pertumbuhan ekonomi tetapi juga memberikan dampak buruk, seperti hilangnya lahan pertanian (Sugestiadi & Basuki, 2020). Perkembangan kota diidentifikasi dengan perubahan fungsional fisik yang mengarah pada perubahan ruang nonterbangun menjadi perkotaan yang disertai dengan perubahan kegiatan utama (Cheng *et al*., 2003). Dampak hilangnya penggunaan lahan pertanian di kawasan suburban selatan Kota Surakarta akibat perkembangan kawasan perkotaan menjadi isu penting. Terdapat lahan pertanian yang ditetapkan sebagai Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B) seluas 1108 ha atau 6% dari seluruh KP2B yang ditetapkan di Kabupaten Sukoharjo. Kawasan suburban selatan yang terdiri dari Kecamatan Grogol dan Kecamatan Baki termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Sukoharjo yang memiliki indeks ketahanan pangan tertinggi kedua di Provinsi Jawa Tengah (Pujiati *et al*., 2020) yang menjadi penopang pasokan pangan bagi wilayah Provinsi Jawa Tengah. Oleh karena itu, keberadaan dan kelestarian KP2B di kawasan suburban selatan Kota Surakarta menjadi penting karena merupakan penyokong ketahanan pangan Kabupaten Sukoharjo.

Perkembangan kota pada dasarnya merupakan proses perubahan keadaan awal dengan setelahnya yang bersifat dinamis (Pontoh & Kustiawan, 2008; Sugestiadi & Basuki, 2020). Memahami proses perubahan yang dinamis dari perkembangan kota dan faktor-faktor pengaruhnya sangat penting bagi perencanaan wilayah dan kota. Analisis perubahan penggunaan lahan dengan memanfaatkan data spasial yang bersifat temporal sangat bermanfaat, khususnya untuk melakukan pemantauan terhadap lokasi yang mengalami perubahan penggunaan lahan dengan memperhatikan penampakan visual maupun estimasi peningkatan serta penurunan luas lahan (Nuraeni *et al*., 2017). Pemodelan spasial sering digunakan untuk melihat perubahan penggunaan lahan, yaitu dengan Cellular Automata (Islam *et al*., 2018; Xu *et al.,* 2019) yang memodelkan perubahan penggunaan lahan melalui prediksi berdasarkan tren perubahan lahan (Rahmawati & Pratomoatmojo, 2019). Cellular Automata (CA) mampu menyimulasikan fenomena berskala makro, seperti perkembangan perkotaan dari interaksi tingkat mikro yang dimulai dengan sel yang memiliki probabilitas perubahan tertinggi, sehingga mampu memprediksi lokasi yang paling memungkinkan untuk pengembangan, memperkirakan kemungkinan jumlah perubahan, dan mengalokasikan jumlah perubahan dalam suatu wilayah penelitian. Sementara itu, pendekatan Artificial Neural Network (ANN) yang berintegrasi dengan metode CA memiliki kesederhanaan, fleksibilitas, intuitif, dan kemampuan mengolaborasikan dimensi spasial dan temporal (Santé *et al.,* 2010) sehingga metode integrasi CA-ANN dapat memberikan gambaran atau prediksi penggunaan lahan di masa mendatang dari hubungan-hubungan kompleks yang disederhanakan.

Perubahan penggunaan lahan di kawasan suburban selatan Kota Surakarta sebagai dampak dari proses perkembangan kota memengaruhi keberadaan kawasan pertanian dan mengancam kelestarian KP2B yang ada. Memahami kemungkinan perubahan di masa mendatang dengan menggunakan pemodelan spasial diharapkan dapat

memberikan gambaran persebaran dan lokasi yang diprediksi mengalami perubahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi perubahan penggunaan lahan pada KP2B di kawasan suburban selatan Kota Surakarta dengan menggunakan pemodelan Cellular Automata - Artificial Neural Networks (CA-ANN).

2. KAJIAN TEORI

2.1 PERKEMBANGAN KOTA

Perkembangan kota adalah proses perubahan kondisi perkotaan dalam rentang waktu yang berbeda yang prosesnya dapat berjalan secara alami maupun dengan pengaruh manusia yang mengatur arus perubahannya. Perkembangan kota dinyatakan sebagai proses pertumbuhan spasial yang disertai peningkatan jumlah kependudukan akibat dari meningkatnya fungsi perkotaan yang berpengaruh pada perubahan aspek kehidupan, seperti aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan (Sugestiadi & Basuki, 2020). Perkembangan kota juga diidentifikasi dengan perubahan fungsional fisik yang mengarah pada perubahan ruang nonterbangun menjadi perkotaan yang disertai dengan perubahan kegiatan utama (Cheng *et al.,* 2003). Perluasan fisik spasial perkotaan dan perubahan fungsional ke wilayah luar pusat kota membentuk interaksi keruangan pada kawasan antara desa-kota atau wilayah pinggiran penghubung antarwilayah. Wilayah pinggiran yang berinteraksi kuat dengan kota disebut suburban dengan karakterisik wilayah sebagai tempat tinggal atau permukiman.

2.1 PENGGUNAAN LAHAN

Penggunaan lahan merupakan hasil dari pengaruh interaksi manusia dengan lingkungan yang memiliki karakteristik aktivitas manusia. Penggunaan lahan didefinisikan sebagai cara dan tujuan di mana manusia menggunakan tanah dan sumbernya (Anthony *et al*., 2024). Karakteristik aktivitas manusia pada lahan berkaitan dengan pemanfaatan lahan (Mulya *et al.,* 2022) yang menjelaskan jenis penggunaan lahan secara detail. Secara umum, penggunaan lahan dikelompokkan menjadi penggunaan lahan pertanian dan penggunaan lahan nonpertanian (Savitri & Fransiska, 2022). Lahan nonpertanian merupakan penggunaan lahan yang bersifat perkotaan, seperti permukiman, industri, perdagangan/jasa, dan fasilitas umum. Penggunaan lahan pada tiap wilayah diatur secara khusus melalui kebijakan penataan ruang, yaitu Rencana Tata Ruang Wilayah yang bertujuan untuk mengatur, memanfaatkan, dan mengendalikan lahan. Menurut RTRW Kabupaten Sukoharjo Tahun 2011-2031 penggunaan lahan digolongkan menurut kawasan lindung dan kawasan budidaya dengan klasifikasi penggunaan lahan, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Penggunaan Lahan

Kawasan	Penggunaan Lahan
Lindung	Hutan lindung
	Sempadan mata air
	Sempadan sungai
	Sempadan waduk
Budidaya	Hutan produksi terbatas
	Pariwisata
	Permukiman
	Pertahanan & keamanan
	Pertambangan
	Industri
	Perkebunan
	Peternakan
	KP2B

Sumber: RTRW Kab. Sukoharjo Tahun 2011-2031

2.2 PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

Perubahan penggunaan lahan diartikan sebagai bentuk intervensi manusia terhadap lahan untuk memenuhi kebutuhan hidup baik secara materiil dan spiritual (Rahmah *et al.,* 2019). Perubahan penggunaan lahan terjadi pada lahan nonterbangun yang biasanya berupa lahan pertanian menjadi lahan terbangun, seperti perumahan, industri, fasilitas-fasilitas pelayanan umum, dan lainnya. Daerah pertanian menjadi sasaran utama perubahan lahan (Miswar *et al.,* 2021) menjadi kawasan permukiman untuk memenuhi kebutuhan dasar. Hal tersebut tidak lepas dari faktor determinan perubahan dengan memperhatikan karakteristik kawasan sehingga akan memunculkan faktor yang berbeda (Rosalina &

Susilo, 2018). Perubahan penggunaan lahan yang sering kali bersifat nonlinear memunculkan dua faktor utama perubahan itu sendiri, yaitu faktor pendorong lingkungan fisik dan sosial masyarakat (Faye *et al.*, 2023).

Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan tidak lepas dari aspek-aspek kehidupan yang juga berkaitan dengan manusia, seperti kepadatan penduduk dalam suatu wilayah yang menunjukkan perbandingan jumlah penduduk dengan luas wilayah. Selain itu, faktor pengaruh perubahan penggunaan lahan juga berasal dari kegiatan-kegiatan perkotaan permukiman, industri, perdagangan/jasa, dan ketersediaan sarana fasilitas umum serta kedekatan dengan aksesibilitas (Hapsary *et al.,* 2021; Kusniawati *et al.,* 2019; Syafitri & Susetyo, 2019). Perubahan penggunaan lahan dapat dipengaruhi oleh aspek sosial, seperti nilai tanah (Nugroho *et al.,* 2022) dan faktor lingkungan, yaitu kemiringan lereng (Nugroho *et al.,* 2022; Syafitri & Susetyo, 2019). Perubahan pada penggunaan lahan yang disebabkan oleh faktor-faktor pengaruh disintesiskan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Sintesis Faktor Perubahan Penggunaan Lahan

Hapsary *et al.* (2021)	Kusniawati *et al.* (2020)	Nugroho *et al.* (2022)	Syafitri & Susetyo (2018)	Sintesis
Kepadatan penduduk Jarak ke permukiman	Kepadatan penduduk Jarak ke perumahan			Faktor penduduk
			Jarak ke aktivitas industri Jarak ke aktivitas perdagangan/jasa Jarak ke fasilitas umum	Faktor kegiatan
		Jarak ke sarana		
Jarak ke jalan Jarak ke sungai	Jarak ke jalan Jarak ke sungai	Jarak ke jalan	Jarak ke jalan	Faktor aksesibilitas
		Nilai tanah		Faktor nilai tanah
		Kemiringan lereng	Kemiringan lereng	Faktor topografi

2.3 KAWASAN PERTANIAN PANGAN BERKELANJUTAN

Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan, yang selanjutnya dapat disebut KP2B, merupakan kebijakan yang ditetapkan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 2009 yang bertujuan untuk mendukung kemandirian dan ketahanan pangan dengan melindungi dan mengembangkan lahan pertanian secara konsisten. KP2B didefinisikan sebagai "wilayah budidaya pertanian terutama pada wilayah pedesaan yang memiliki hamparan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan dan/atau Lahan Cadangan Pertanian Pangan Berkelanjutan serta unsur penunjangnya dengan fungsi utama untuk mendukung kemandirian, ketahanan, dan kedaulatan pangan nasional".

2.4 PEMODELAN SPASIAL

Pemodelan adalah metode untuk memahami dan memperbaharui karakteristik yang kompleks untuk disederhanakan untuk dapat dipahami dan dikelola secara analitis. Pemodelan spasial yang sering digunakan adalah Cellular Automata-Artificial Neural Networks (CA-ANN). Cellular Automata (CA) merupakan model sederhana dari proses pendistribusian spasial yang dilakukan dalam Sistem Informasi Geospasial (SIG) (Baja, 2012) dengan aturan sederhana dan berkembang terus menerus menurut aturan yang ditetapkan serta mampu memprediksikan perubahan sistem yang bersifat dinamik (Hapsary *et al.,* 2021). Artificial Neural Networks merupakan pendekatan yang memiliki kemampuan dalam meniru fenomena yang kompleks yang dilengkapi dengan kapasitas pengolahan data dalam jumlah yang besar yang didasarkan pada pengoperasian jaringan saraf (Basse *et al.*, 2014; Rahmah *et al.*, 2019). Metode CA-ANN merupakan salah satu metode pemodelan terbaik saat ini karena kesederhanaan, fleksibilitas, intuitif, dan kemampuan mengolaborasikan dimensi spasial dan temporal (Santé *et al.,* 2010) sehingga penggunaan metode CA-ANN digunakan untuk memberikan gambaran atau prediksi penggunaan lahan di masa mendatang.

2.5 VARIABEL PENELITIAN

Berdasarkan teori-teori yang telah diuraikan, dilakukan sintesis teori terhadap keterkaitan dengan fenomena perubahan penggunaan lahan yang digunakan sebagai penentuan variabel penelitian. Selain itu, penggunaan dan pemanfaatan SIG dalam pemodelan dan prediksi dengan metode CA-ANN diperlukan faktor-faktor pendorong atau pengaruh yang juga akan menjadi batasan dalam melakukan penelitian ini. Variabel penelitian dirumuskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel Penelitian

Faktor	Variabel Penelitian	Indikator
	Penggunaan Lahan	Berdasarkan RTRW yang disesuaikan kondisi wilayah penelitian, yaitu permukiman, industri, pertanian, dan sempadan sungai
Faktor penduduk	Kepadatan penduduk	Jumlah penduduk dibandingkan luas wilayah per desa
Faktor kegiatan	Jarak ke permukiman	Jarak ke permukiman berupa lingkungan tempat tinggal dan hunian
	Jarak ke aktivitas industri	Jarak ke aktivitas industri pengolahan produksi berskala menengah dan besar
	Jarak ke aktivitas perdagangan/jasa	Jarak ke sarana aktivitas perdagangan/jasa berskala pelayanan kota dan BWP
	Jarak ke fasilitas umum	Jarak ke sarana aktivitas penyediaan layanan pendidikan, kesehatan, dan sarana pemerintahan
Faktor aksesibilitas	Jarak ke jalan	Jarak ke jaringan jalan arteri, kolektor, dan lokal
	Jarak ke sungai	Jarak ke aliran sungai atau drainase primer dan sekunder
Faktor nilai tanah	Nilai tanah	Zona Nilai Tanah (ZNT) berdasarkan ATR/BPN
Faktor topografi	Kemiringan lereng	Persebaran kemiringan lereng (*slope*)
	Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B)	Penetapan lahan KP2B berdasarkan RTRW

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan adalah pendekatan deduktif karena didasarkan pada proses mengkaji teori-teori yang berkaitan dengan penelitian, pelaksanaan observasi, yang dilanjutkan dengan tahap konfirmasi pada analisis untuk pengambilan kesimpulan. Pendekatan deduktif digunakan karena melalui proses pengaitan teori perubahan penggunaan lahan dan pemodelan serta sintesis teori yang memunculkan variabel penelitian sehingga dalam keseluruhan proses penelitian ini diawali dari alur pemikiran yang bersifat umum ke khusus. Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif karena memiliki kejelasan unsur meliputi tujuan, subjek, sumber data, populasi dan sampel, desain penelitian serta analisis setelah memperoleh data yang dibutuhkan. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan pengolahan sampel untuk pengujian akurasi hasil interpretasi peta pada citra satelit yang selanjutnya dilakukan pemodelan spasial.

Tabel 4. Kebutuhan Data Penelitian

Variabel	Data	Teknik Pengumpulan Data	Sumber Data
Penggunaan Lahan	Citra satelit Google Earth	Observasi citra satelit	DPUPR & Google Earth
Kepadatan penduduk	Jumlah penduduk Kecamatan Grogol dan Baki Luas wilayah Kecamatan Grogol dan Baki	Studi literatur	BPS Kabupaten Sukoharjo
Jarak ke permukiman	Persebaran kawasan permukiman	Observasi, studi literatur, dan citra satelit	DPUPR, BPS Kabupaten Sukoharjo, citra satelit Google Earth, INAGeoportal BIG
Jarak ke aktivitas industri	Persebaran perusahaan industri pengolahan		
Jarak ke aktivitas perdagangan/jasa	Persebaran sarana perdagangan pasar dan pusat perbelanjaan berskala kota dan kecamatan		
Jarak ke fasilitas umum	Persebaran rumah sakit, puskesmas, sekolah, dan sarana pemerintahan		
Jarak ke jalan	Jaringan jalan Kecamatan Grogol dan Baki	Studi literatur	DPUPR Kabupaten Sukoharjo
Jarak ke sungai	Aliran Sungai	Studi literatur	INAGeoportal BIG
Nilai tanah	Zona nilai tanah menurut ATR/BPN	Studi literatur	BHUMI ATR/BPN
Kemiringan lereng	Kemiringan lereng Kecamatan Grogol dan Baki	Studi literatur	DEMNAS BIG
Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B)	Peta Rencana Pola Ruang RTRW Kabupaten Sukoharjo Tahun 2011-2031	Studi literatur	JDIH Kabupaten Sukoharjo

Prediksi perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan melakukan pemodelan spasial dengan metode Cellular Automata - Artificial Neural Networks (CA-ANN). Metode ini digunakan karena mampu memodelkan perubahan penggunaan lahan melalui prediksi berdasarkan tren perubahan lahan dan mampu menyimulasikan fenomena berskala makro dari interaksi tingkat mikro yang dimulai dengan sel yang memiliki probabilitas perubahan tertinggi. Tahapan yang

dilakukan pada penelitian ini meliputi proses: (a) identifikasi penggunaan lahan melalui interpretasi citra satelit bersifat temporal pada tahun 2014, 2018, dan 2022; (b) pengolahan raster faktor perubahan penggunaan lahan; (c) pemrosesan pemodelan spasial menggunakan *plug-in* MOLUSCE; dan (d) menganalisis prediksi perubahan penggunaan lahan pada KP2B. Untuk memperoleh data-data yang digunakan dilakukan proses pengambilan data melalui survei instansi, citra satelit, dan studi literatur (Lihat Tabel 4). Daftar kebutuhan data digunakan untuk memberikan gambaran terstruktur pada proses pengumpulan data yang digunakan dalam proses analisis. Kebutuhan data disusun berdasarkan variabel penelitian sehingga proses penelitian dapat dilakukan sesuai dengan data-data yang dibutuhkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

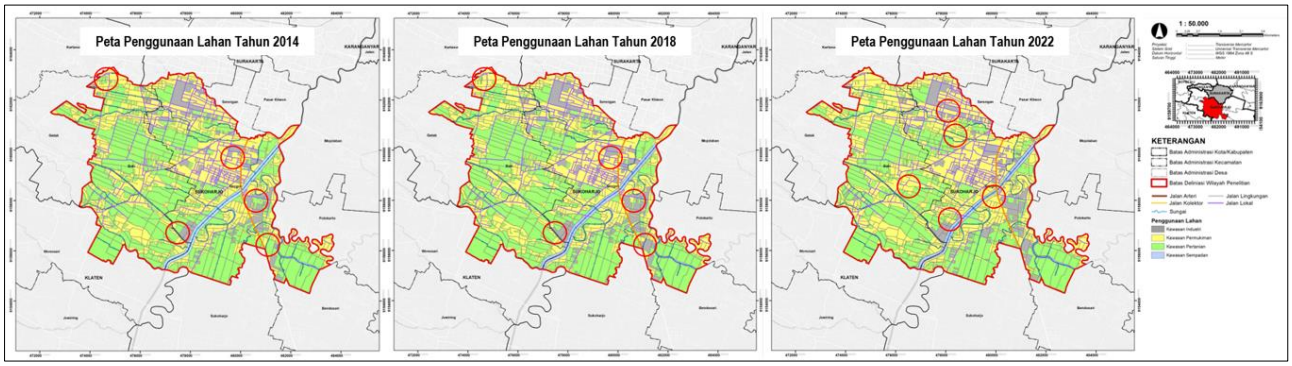
4.1 IDENTIFIKASI PENGGUNAAN LAHAN

Identifikasi penggunaan lahan di suburban selatan Kota Surakarta dilakukan dengan pemetaan penggunaan lahan dengan menggunakan teknik digitasi *on screen* pada citra satelit pada tahun 2014, 2018, dan 2022 yang diperoleh dari Google Earth Pro. Cita satelit diambil dengan teknik mozaik dengan pembagian *grid* 3x3 sehingga dapat memperoleh resolusi citra satelit yang cukup tajam. Identifikasi penggunaan lahan didasarkan pada klasifikasi penggunaan lahan sesuai variabel penelitian yaitu penggunaan lahan pemukiman, pertanian, industri, dan sempadan sungai dengan luasan dan persentase seperti pada Tabel 5 dan Gambar 2.

Tabel 5. Penggunaan Lahan Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta Tahun 2014, 2018, dan 2022

No	Jenis Penggunaan Lahan	Tahun 2014		Tahun 2018		Tahun 2022	
		Luas (ha)	Persentase (%)	Luas (ha)	Persentase (%)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Kawasan Industri	365,85	7,04%	432,24	8,32%	450,22	8,66%
2	Kawasan Permukiman	2.124,11	40,87%	2.219,75	42,71%	2.436,80	46,89%
3	Kawasan Pertanian	2.495,55	48,02%	2.334,71	44,92%	2.106,79	40,54%
4	Kawasan Sempadan Sungai	211,49	4,07%	210,30	4,05%	203,19	3,91%
	Total	**5.197**	**100%**	**5.197**	**100%**	**5197**	**100%**

Penggunaan lahan pada tahun 2014 hingga 2018 masih didominasi lahan pertanian dengan sebaran berada di selatan kawasan sedangkan kawasan permukiman mendominasi bagian utara kawasan yang berdekatan dengan Kota Surakarta. Identifikasi penggunaan lahan selama periode 2014-2018 menunjukkan pengaruh perkembangan Kota Surakarta telah merembet ke wilayah selatan yang berdampak pada degradasi penggunaan lahan pertanian sebesar 160,84 ha. Sementara itu, penggunaan lahan sebagai kawasan permukiman dan industri diidentifikasi mengalami peningkatan signifikan selama periode tahun 2018-2022 yang menunjukkan dominasi penggunaan lahan permukiman pada tahun 2022 sebesar 46,89% dari luas kawasan suburban selatan Kota Surakarta.



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta Tahun 2014, 2018, dan 2022

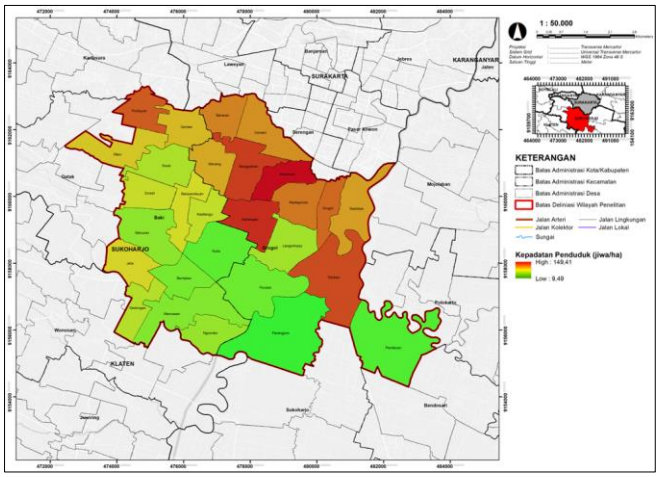
4.2 FAKTOR PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN

Faktor pendorong terjadinya perubahan penggunaan lahan pada penelitian ini meliputi lima faktor, yaitu faktor penduduk, faktor kegiatan, faktor aksesibilitas, faktor nilai tanah, dan faktor topografi. Faktor penduduk dinilai dari kepadatan penduduk, yaitu dengan membandingkan jumlah penduduk dengan luas wilayah sehingga dapat diklasifikasikan kepadatannya. Kawasan suburban selatan Kota Surakarta terdiri dari dua kecamatan yang termasuk dalam wilayah administratif Kabupaten Sukoharjo, yaitu Kecamatan Baki dan Kecamatan Grogol, dengan jumlah seluruh

desa sebanyak 28 desa. Kepadatan penduduk setiap desa ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 3 dengan kepadatan penduduk tertinggi berada di Desa Kwarasan Kecamatan Grogol sebesar 149,41 jiwa/ha. Kepadatan penduduk yang tinggi tersebut dikarenakan Desa Kwarasan merupakan Kawasan Solo Baru yang merupakan pusat pelayanan kawasan yang memiliki kompleksitas kegiatan yang tinggi. Sementara itu, kepadatan penduduk terendah berada di Desa Parangjoro, Kecamatan Grogol sebesar 9,49 jiwa/ha. Kepadatan penduduk di Kecamatan Baki menunjukkan rata-rata angka kepadatan yang hampir setara.

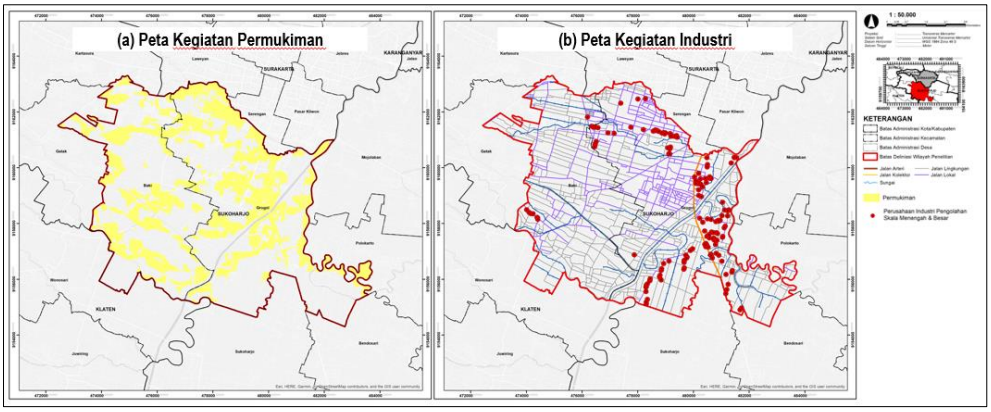
Tabel 5. Kepadatan Penduduk

Desa	Kepadatan Penduduk (jiwa/ha)	Desa	Kepadatan Penduduk (jiwa/ha)
Ngrombo	25,34	Pondok	23,32
Mancasan	23,89	Parangjoro	9,49
Gedongan	27,84	Pandeyan	14,80
Jetis	36,85	Telukan	67,87
Bentakan	23,45	Kadokan	48,64
Kudu	15,81	Grogol	62,86
Kadilangu	28,06	Madegondo	61,00
Bakipandeyan	35,40	Langenharjo	27,68
Menuran	25,15	Gedangan	112,60
Duwet	31,59	Kwarasan	149,41
Siwal	27,71	Sanggrahan	76,84
Waru	39,82	Manang	46,46
Gentan	43,58	Banaran	59,99
Purbayan	67,25	Cemani	51,60



Gambar 3. Peta Kepadatan Penduduk berdasarkan Desa di Suburuban Selatan Kota Surakarta Tahun 2022

Faktor kegiatan yang memengaruhi perubahan penggunaan lahan meliputi kegiatan permukiman, industri, perdagangan/jasa, dan fasilitas umum. Kegiatan permukiman di kawasan suburban selatan Kota Surakarta hingga tahun 2022 adalah sebesar 2.436,80 ha yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a). Keberadaan permukiman eksisting dapat menjadi identifikasi awal area yang diprediksi terjadi perubahan, hal tersebut berhubungan dengan kedekatan jarak dengan faktor lainnya. Kegiatan industri di kawasan suburban selatan Kota Surakarta diidentifikasikan dari persebaran industri pengolahan produksi berskala menengah dan besar yang berjumlah 147 titik seperti pada Gambar 4 (b). Persebaran kegiatan industri didominasi di Kecamatan Grogol dan tersebar di sekitar jalan kolektor utama dan jalan lokal penghubung dengan wilayah lain. Dengan adanya persebaran industri pada kawasan aglomerasi tertentu mampu memicu pertumbuhan permukiman di sekitarnya yang berakibat pada perubahan penggunaan lahan.



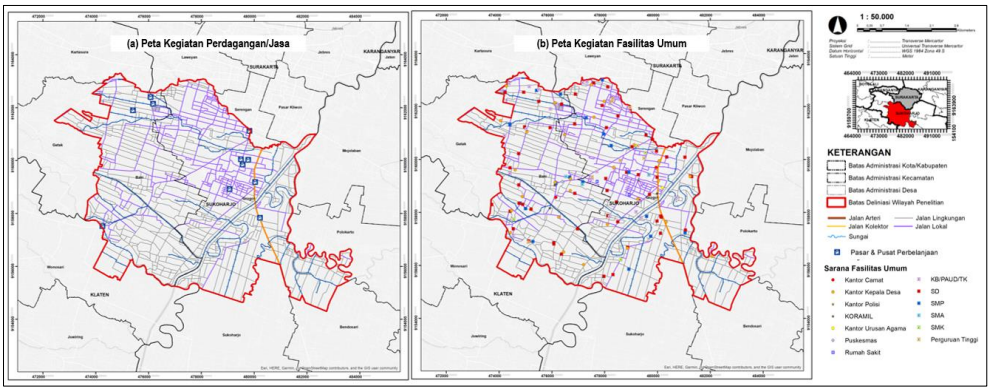
Gambar 4. Peta Kegiatan Permukiman & Industri Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta

Faktor kegiatan perdagangan/jasa diidentifikasikan berdasarkan persebaran sarana pusat perbelanjaan dan pasar yang diketahui sebanyak 11 titik yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 5 (a). Adanya pusat perbelanjaan dan pasar untuk memenuhi kebutuhan dasar manusia dapat menarik kegiatan permukiman maupun perdagangan dengan skala lebih kecil pada area di sekitarnya yang diprediksi akan menyebabkan perubahan penggunaan lahan cenderung lebih cepat terjadi.

Diketahui di kawasan suburban selatan Kota Surakarta, persebaran fasilitas umum berjumlah 151 titik yang terbagi menjadi 36 titik sarana pemerintahan, 109 titik fasilitas pendidikan, dan 6 titik fasilitas kesehatan yang ditunjukkan oleh Gambar 5 (b). Kedekatan dengan fasilitas umum sebagai pemenuhan kebutuhan dasar manusia menjadi pertimbangan perkiraan perubahan penggunaan lahan akan lebih cepat terjadi. Persebaran fasilitas umum yang hampir merata di seluruh kawasan dan berdekatan dengan kawasan-kawasan pertanian dapat mendorong perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi lahan terbangun untuk difungsikan sebagai kegiatan permukiman.

Tabel 6. Persebaran Kegiata Perdagangan

Sarana Perdagangan	Nama
Pasar	Pasar Gentan
	Pasar Grogol
	Pasar Telukan
	Pasar Rakyat Daleman
Pusat perbelanjaan	Luwes Gentan
	Alfamidi Super Mangesti
	Hartono Trade Center
	The Park Mall Solo Baru
	Pakuwon Mall Solo Baru
	Transmart Solo Baru
	Mitra 10 Supermarket Solo Baru



Gambar 5. Peta Kegiatan Perdagangan/Jasa (a) & Fasilitas Umum (b) Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta

Faktor aksesibilitas berupa jalan dan sungai menunjukkan persebaran yang merata di seluruh kawasan, artinya hampir seluruh kawasan dapat dijangkau. Persebaran jalan diidentifikasikan berdasarkan data kelas jalan yang ada di kawasan suburban selatan Kota Surakarta, yaitu kelas jalan kolektor utama, jalan lokal, dan jalan lingkungan. Kecenderungan kawasan yang berdekatan dengan aksesibilitas akan lebih cepat tumbuh sehingga memungkinkan perubahan penggunaan lahan pada kawasan tersebut.

Selain itu, faktor pendorong perubahan penggunaan lahan juga dipengaruhi oleh nilai tanah. Nilai tanah di kawasan suburban selatan Kota Surakarta bervariasi antara Rp 0,00/meter persegi hingga > Rp 20.000.000,00/meter persegi. Nilai tanah memengaruhi kecenderungan perubahan, area yang berada dekat dengan pusat kegiatan perkotaan cenderung memiliki nilai tanah yang tinggi. Faktor pendorong perubahan penggunaan lahan salah satunya meliputi aspek lingkungan, yaitu kemiringan lereng. Pada kawasan suburban selatan Kota Surakarta diketahui kemiringan lereng relatif sama, yaitu landai. Hal tersebut dikarenakan kawasan ini berada pada dataran rendah dan dilalui sungai Bengawan Solo sehingga kecenderungan kelerengannya rendah. Dengan demikian, kemungkinan perubahan penggunaan lahan di kawasan suburban selatan Kota Surakarta dapat terjadi di seluruh kawasan.

4.3 PROSES PEMODELAN SPASIAL

Setelah seluruh data dan komponen diidentifikasi, dilakukan proses pemodelan spasial dengan menggunakan metode Cellular Automata - Artificial Neural Networks (CA-ANN) yang melalui enam tahap, yaitu *input model*, *evaluating correlation Pearson*, *area changes*, *transition potential modeling*, *cellular automata simulation*, dan *validation* dengan alur kerja seperti pada Gambar 6.

Gambar 6. Proses Pemodelan Spasial Cellular Automata-Artificial Neural Network (CA-ANN)

Hasil dari pemodelan spasial CA-ANN tidak hanya memperoleh hasil akhir berupa prediksi penggunaan lahan di masa mendatang, tetapi juga keluaran dari tahapan-tahapan pemodelan. *Evaluating correlation Pearson* merupakan proses untuk mengetahui korelasi antar variabel yang memengaruhi perubahan serta melihat bagaimana variabel saling

berinteraksi untuk memunculkan kemungkinan penggunaan lahan sesuai kegiatan yang berkorelasi. Hasil uji korelasi menunjukkan variabel yang berkorelasi sangat kuat dan memiliki pengaruh yang kuat pada perubahan penggunaan lahan, yaitu jarak ke perdagangan/jasa, jarak ke fasilitas umum, jarak ke industri, jarak ke sungai, dan jarak ke jalan. Hal tersebut menunjukkan semakin dekat dengan pusat kegiatan dan aksesibilitas, maka kecenderungan lahan untuk berubah semakin cepat. Sementara itu, variabel yang menunjukkan korelasi sangat rendah, yaitu nilai tanah yang artinya semakin dekat dengan pusat kota nilai tanah semakin tinggi tetapi kecenderungan perubahan tetap akan ada. Selain itu, dihasilkan juga korelasi yang berbalik pada variabel kepadatan penduduk dan topografi yang artinya variabel tersebut tidak menunjukkan pengaruh pada perubahan penggunaan lahan. Meskipun suatu area memiliki kepadatan penduduk yang tinggi, perubahan penggunaan lahan tetap akan terjadi, sedangkan pengaruh kemiringan lereng tidak diperhitungkan karena seluruh kawasan memiliki nilai yang sama dan memiliki kesempatan yang sama untuk terjadi perubahan penggunaan lahan.

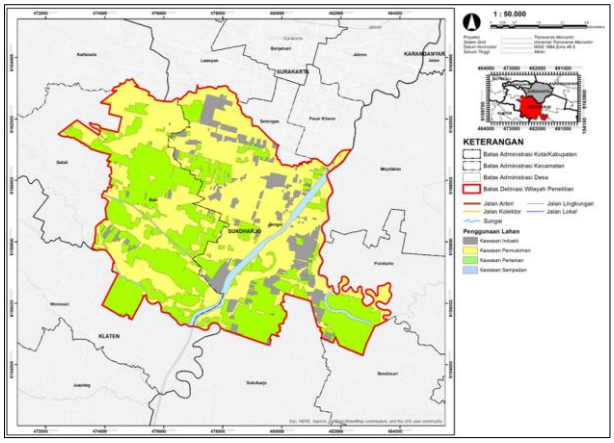
Keluaran dari tahap *area changes* menghasilkan matriks transisi perubahan yang menunjukkan kawasan permukiman memiliki nilai matriks mendekati 1, artinya peluang penggunaan lahan permukiman tidak mengalami perubahan penggunaan lahan atau tetap. Diketahui juga penggunaan lahan yang berpotensi mengalami perubahan penggunaan lahan menjadi lahan permukiman meliputi kawasan industri (nilai 0,048), sempadan sungai (nilai 0,043), dan kawasan pertanian (nilai 0,038). Sementara itu, potensi perubahan penggunaan lahan pertanian menunjukkan nilai 0,941, artinya penggunaan lahan pertanian memiliki peluang yang cukup besar untuk tidak mengalami perubahan (tetap).

Selanjutnya adalah tahap *transition potential modelling*, yaitu proses pelatihan jaringan. Tahap ini dilakukan berulang kali untuk memperoleh parameter terbaik sehingga memperoleh hasil yang mendekati konstan. Hasil *training* model dilakukan berulang kali untuk memperoleh nilai *error* terkecil sehingga model yang dihasilkan akan semakin baik. Tahapan *cellular automata simulation* akan memproses prediksi penggunaan lahan kawasan suburban selatan Kota Surakarta tahun 2022 untuk dijadikan model.

Setelah melakukan seluruh tahapan dan memperoleh hasil validasi dengan nilai persentase kebenaran model menunjukkan angka 88,25% dan keseluruhan nilai indeks kappa (*overall*) adalah 0,805. Diketahui bahwa jika pemodelan mencapai kesesuaian cukup baik dengan akurasi yang kuat (Kunz, 2017), maka pemodelan dapat dilanjutkan untuk tahun 2030 dengan menambah jumlah iterasi menjadi tiga pada tahap *cellular automata simulation*. Dari iterasi tersebut didapatkan hasil pemodelan berupa prediksi penggunaan lahan kawasan suburban selatan Kota Surakarta tahun 2030 yang ditunjukkan Gambar 7 dengan luas dan persentase ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Penggunaan Lahan Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta Tahun 2030

No	Jenis Penggunaan Lahan	Tahun 2014	
		Luas (ha)	Persentase (%)
1	Kawasan Industri	508,60	9,79%
2	Kawasan Permukiman	2.575,83	49,56%
3	Kawasan Pertanian	1.910,14	36,75%
4	Kawasan Sempadan Sungai	202,43	3,90%
Total		**5.197**	**100%**



Gambar 7. Peta Prediksi Penggunaan Lahan Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta Tahun 2030

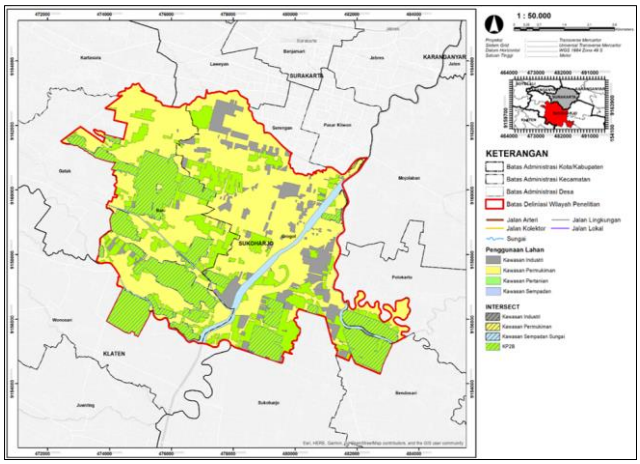
Luasan penggunaan lahan pada tahun 2030 diprediksi mengalami perubahan, yaitu penggunaan lahan permukiman menjadi sebesar 2.575,83 ha dan penggunaan lahan industri menjadi sebesar 508,60 ha. Sementara itu, penggunaan lahan pertanian menunjukkan luasan penggunaan lahan sebesar 1.910,14 ha. Prediksi total perubahan penggunaan lahan pada tahun 2030 adalah 214,47 ha yang dipengaruhi oleh faktor-faktor perubahan atau variabel yang digunakan pada penelitian ini, dimana pengaruh jarak ke titik atau kawasan variabel menjadi pertimbangan perubahan penggunaan lahan di sekitarnya.

4.4 PREDIKSI PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN PADA KP2B

Prediksi perubahan penggunaan lahan kawasan suburban selatan Kota Surakarta tahun 2030 dengan kebijakan Kawasan Pertanian Pangan Berkelanjutan (KP2B) yang ditetapkan dalam Peta Rencana Pola Ruang RTRW Kabupaten Sukoharjo Tahun 2011-2031 dilakukan dengan menggunakan teknik *overlay intersect*. Tabel 8 dan Gambar 8 merupakan perbandingan antara hasil prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2030 dengan KP2B di kawasan suburban selatan Kota Surakarta.

Tabel 8. Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan pada KP2B Tahun 2030

Luas KP2B	Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan Tahun 2030	
	Klasifikasi Penggunaan Lahan	Luas (ha)
1182,09 Ha	Kawasan Industri	4,94
	Kawasan Permukiman	21,31
	Kawasan Pertanian	1.154,81
	Kawasan Sempadan Sungai	1,03
	Total	**1.182,09**



Gambar 8. Peta Prediksi Perubahan Penggunaan Lahan pada KP2B Kawasan Suburban Selatan Kota Surakarta Tahun 2030

Dari hasil prediksi perubahan penggunaan lahan di atas, diketahui prediksi perubahan terbesar adalah penggunaan lahan permukiman sebesar 21,31 ha. Prediksi konversi lahan permukiman terjadi karena lokasi yang berhimpit dengan lahan KP2B dan tren prediksi mengarah pada kawasan KP2B. Dari luas kebijakan KP2B yang ditetapkan sebesar 1.182,09 ha, diketahui penggunaan lahan yang tetap menjadi pertanian sebesar 1.154,81 ha atau 97,69%, yang artinya prediksi penggunaan lahan dapat dinyatakan sesuai dengan kebijakan KP2B yang ditetapkan. Dari hasil perbandingan tersebut diketahui juga penggunaan lahan pertanian yang tidak ditetapkan sebagai KP2B diprediksi masih akan ada, yaitu sebesar 728,05 ha.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan identifikasi penggunaan lahan di kawasan suburban selatan Kota Surakarta melalui citra satelit pada tahun 2014, 2018, dan 2022, yang menunjukkan perubahan signifikan menjadi lahan terbangun berupa permukiman dan industri. Faktor yang memiliki pengaruh kuat terhadap perubahan penggunaan lahan di kawasan suburban selatan Kota Surakarta, yaitu faktor kegiatan berupa permukiman, industri, perdagangan/jasa, dan fasilitas umum serta faktor aksesibilitas berupa jarak ke jalan dan sungai. Penggunaan pemodelan Cellular Automata - Artificial Neural Networks (CA-ANN) memprediksi penggunaan lahan pada tahun 2030 akan didominasi kawasan permukiman

sebesar 49,56%, tingkat validasi menghasilkan nilai Kappa sebesar 0,805 dan persentase kebenaran 88,25%. Prediksi perubahan penggunaan lahan pada KP2B menunjukkan perkiraan perubahan menjadi kawasan permukiman seluas 21,31 ha dan kawasan industri seluas 4,94 ha yang disebabkan karena tren prediksi mengarah pada kawasan KP2B. Meskipun prediksi perubahan penggunaan lahan pada KP2B kecil, tetapi hal ini perlu diperhatikan karena fungsi KP2B sebagai pendukung ketahanan pangan perlu dilestarikan dan dijaga. Terlebih lagi Kabupaten Sukoharjo merupakan salah satu daerah penyokong ketahanan pangan Provinsi Jawa Tengah. Oleh karena itu, pemanfaatan dan pengendalian penggunaan lahan perlu diperketat sehingga mampu menjaga stabilitas peran kawasan bagi wilayah dan mengantisipasi dampak perkembangan kota pada kawasan suburban selatan Kota Surakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Anthony, T., Shohan, A. A. A., Oludare, A., Alsulamy, S., Kafy, A.- Al, & Khedher, K. M. (2024). Spatial Analysis of Land Cover Changes for Detecting Environmental Degradation and Promoting Sustainability. *Kuwait Journal of Science*, *51*(2), 100197. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100197

Basse, R. M., Omrani, H., Charif, O., Gerber, P., & Bódis, K. (2014). Land Use Changes Modelling Using Advanced Methods: Cellular Automata and Artificial Neural Networks. The Spatial and Explicit Representation of Land Cover Dynamics at The Cross-Border Region Scale. *Applied Geography*, *53*, 160–171. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.06.016

Cheng, J., Ottens, H., Masser, I., & Turkstra, J. (2003). Understanding Urban Growth: a Conceptual Model. *International Journal of Urban Sciences*, *7*(1), 83–101. https://doi.org/10.1080/12265934.2003.9693524

Faye, B., Du, G., Li, Q., Sané, T., Mbaye, E., & Zhang, R. (2023). Understanding the Characteristics of Agricultural Land Transition in Thiès Region, Senegal: An Integrated Analysis Combining Remote Sensing and Survey Data. *Frontiers in Environmental Science*, *11*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1124637

Forsyth, A. (2012). Defining Suburbs. *Journal of Planning Literature*, *27*(3), 270–281. https://doi.org/10.1177/0885412212448101

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*(2). https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30637

Islam, K., Rahman, M. F., & 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. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.047

Kusniawati, I., Subiyanto, S., & Amarrohman, F. J. (2019). Analisis Model Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Artificial Neural Network di Kota Salatiga. *Jurnal Geodesi UNDIP*, *9*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26026

Miswar, D., Halengkara, L., Sugiyanta, I. G., & Al Azhari, A. S. (2021). Study of Changes in Geospatial Based Land Use in Ambarawa District, Pringsewu Regency. *International Journal of Multicultural and Multireligious Understanding*, *8*(2), 94. https://doi.org/10.18415/ijmmu.v8i2.2336

Mulya, Q. P., Aliyah, I., & Yudana, G. (2022). Perubahan Penggunaan Lahan dan Faktor-Faktor yang Memengaruhi di Kawasan Jalan Ahmad Yani Kartasura Berdasarkan Persepsi Masyarakat. *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, *17*(2), 237. https://doi.org/10.20961/region.v17i2.38660

Nugroho, S., Yuliani, E., & Kautsary, J. (2022). Fenomena Urban Sprawl terhadap Faktor-faktor Perubahan Penggunaan Lahan di Pinggiran Kota. *Journal of Urban and Regional Planning*, *3*(1), 1–8.

Nuraeni, R., Sitorus, S. R. P., & Panuju, D. R. (2017). Analisis Perubahan Penggunaan Lahan dan Arahan Penggunaan Wilayah di Kabupaten Bandung. *Buletin Tanah dan Lahan*, *1*(1), 79–85. https://journal.ipb.ac.id/index.php/btanah/article/view/17695/12669

Pujiati, S., Pertiwi, A., Cholina, S. C., Ibrahim, D. M., & Siti Hafida, H. N. (2020). Analysis of Availability, Affordability and Utilization of Food in Supporting the Achievement of Community Food Security in Central Java Province. *Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian*, *16*(2), 123–133. https://journal.unhas.ac.id/index.php/jsep/article/view/10493/pdf

Rahmah, A. N., Subiyanto, S., & Amarrohman, F. J. (2019). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan dengan Artificial Neural Network (ANN) di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi UNDIP*, *9*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26164

Rahmawati, M., & Pratomoatmojo, N. A. (2019). Pemodelan Perubahan Penggunaan Lahan Berbasis Cellular Automata pada Wilayah Urban Kota Surabaya di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik ITS*, *8*(2). https://media.neliti.com/media/publications/507748-none-c43480cd.pdf

Rosalina, L., & Susilo, B. (2018). Integrasi Pemodelan Cellular Automata dan Multilayer Perceptron Untuk Prediksi Lahan. *Jurnal Bumi Indonesia*, *7*(2).

Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular Automata Models for the Simulation of Real-World Urban Processes: A Review and Analysis. *Landscape and Urban Planning*, *96*(2), 108–122. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.03.001

Savitri, R., & Fransiska, E. (2022). Analisis Kesesuaian Penggunaan Lahan terhadap Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) DKI Jakarta Kelurahan Pulo Gebang, Kecamatan Cakung Kota Jakarta Timur. *Jurnal Ilmiah Planokrisna*, *18*(1), 28–45. https://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/pwk/article/view/464%0Ahttps://journal.teknikunkris.ac.id/index.php/pwk/article/download/464/401

Sugestiadi, M. I., & Basuki, Y. (2020). Pengaruh Interaksi Spasial Antara Kota Surakarta dengan Kawasan Perkotaan Sekitarnya terhadap Pertumbuhan Perkotaan. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*.

https://doi.org/https://doi.org/10.14710/pwk.v16i3.21948

Syafitri, R. A. W. D., & Susetyo, C. (2019). Pemodelan Pertumbuhan Lahan Terbangun Sebagai Upaya Prediksi Perubahan Lahan Pertanian di Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Teknik ITS*, *7*(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i2.36453

Wahyuhana, R. T., & Botanri, A. A. A. (2017). Kajian Aspek Ekonomi dan Ketimpangan Wilayah Perkotaan Surakarta. *Jurnal Planologi Unpas*, *4*(3), 835–847. https://journal.unpas.ac.id/index.php/planologi/article/download/710/399/3275

Xu, T., Gao, J., & Coco, G. (2019). Simulation of Urban Expansion Via Integrating Artificial Neural Network with Markov Chain – Cellular Automata. *International Journal of Geographical Information Science*, *33*(10), 1960–1983. https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1600701