

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan permukiman merupakan salah satu bentuk perubahan penggunaan lahan yang dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan meningkatnya kebutuhan ruang untuk hunian (Dewi et al., 2023). Permukiman merupakan bagian dari lingkungan hunian yang terdiri atas lebih dari satu satuan perumahan dan dilengkapi dengan prasarana, sarana, utilitas umum, serta penunjang kegiatan fungsi lain (Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2011). Pengembangan permukiman tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan lahan, tetapi juga perlu mempertimbangkan kondisi fisik wilayah, aksesibilitas, dan tingkat kerawanan bencana (Ambarwulan et al., 2022). Pengembangan permukiman yang tidak direncanakan secara tepat berpotensi menimbulkan konflik pemanfaatan ruang dan penurunan kualitas lingkungan (Khoironi & Supriyanto, 2025).

Kabupaten Kendal merupakan salah satu wilayah strategis di Provinsi Jawa tengah karena termasuk dalam Kawasan Perkotaan Kedungsepur yang ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Nasional (Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2022). Pertumbuhan wilayah di Kabupaten Kendal ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah penduduk yang mencapai 1.064.812 jiwa pada tahun 2024 serta pertumbuhan ekonomi sebesar 5,42% (Badan Pusat Statistik Kabupaten Kendal, 2025). Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi mendorong meningkatnya kebutuhan ruang, terutama untuk kawasan permukiman (Ananda & Nursadi, 2025). Peningkatan kebutuhan ruang telah mendorong perubahan penggunaan lahan, sehingga diperlukan arahan pengembangan permukiman yang lebih terencana dan berkelanjutan (Hermawan & Rudiarto, 2023).

Perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Kendal menunjukkan peningkatan kawasan permukiman selama periode 2014-2024. Luas kawasan permukiman meningkat dari 3.522 hektar pada tahun 2014 menjadi 5.042 hektar pada tahun 2024, yang mencerminkan meningkatnya kebutuhan ruang untuk hunian (Pratama et al., 2026). Peningkatan kawasan permukiman terjadi seiring dengan konversi lahan nonterbangun menjadi kawasan terbangun, sehingga meningkatkan tekanan terhadap pemanfaatan ruang (Hidayah et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal berlangsung secara ekspansif dan belum sepenuhnya terarah.

Penelitian mengenai perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Kendal telah banyak dilakukan, tetapi penelitian yang menghasilkan arahan lokasi pengembangan permukiman berbasis prediksi spasial masih sangat terbatas. Beberapa penelitian telah menerapkan pemodelan spasial untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Kendal, tetapi belum menghasilkan arahan lokasi pengembangan permukiman (Nugroho et al., 2025). Penelitian lain menunjukkan bahwa perkembangan kawasan terbangun meningkat seiring dengan dinamika wilayah, namun belum mengintegrasikan faktor pendorong dan pembatas dalam penyusunan arahan lokasi permukiman (Sadewo & Buchori, 2018). Keterbatasan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penelitian yang mengintegrasikan prediksi spasial dengan penyusunan arahan lokasi pengembangan permukiman berdasarkan faktor pendorong dan faktor pembatas masih diperlukan untuk mendukung perencanaan permukiman yang lebih terarah.

Penelitian ini menggunakan integrasi metode *Markov Chain* dan *Framework Future Land Use Simulation* (FLUS) untuk memprediksi perkembangan permukiman dan menyusun arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034. Horizon prediksi ditetapkan selama sepuluh tahun, yaitu 2024-2034 agar konsisten dengan periode historis tahun 2014-2024 yang digunakan dalam pemodelan. Rentang waktu tersebut juga sesuai dengan praktik penelitian simulasi perubahan penggunaan lahan berbasis *Cellular Automata* yang umumnya menggunakan horizon prediksi jangka menengah untuk menggambarkan dinamika perubahan penggunaan lahan secara realistis (Liu et al., 2017). Pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor pendorong berupa guna lahan, sarana dan prasarana, serta faktor pembatas berupa kawasan lindung, kawasan rawan bencana, dan kemiringan lereng. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan permukiman melalui arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan uraian pada latar belakang, rumusan permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana dinamika dan prediksi perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal?
2. Di mana lokasi yang berpotensi dikembangkan sebagai kawasan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034?

1.3 Tujuan dan Sasaran

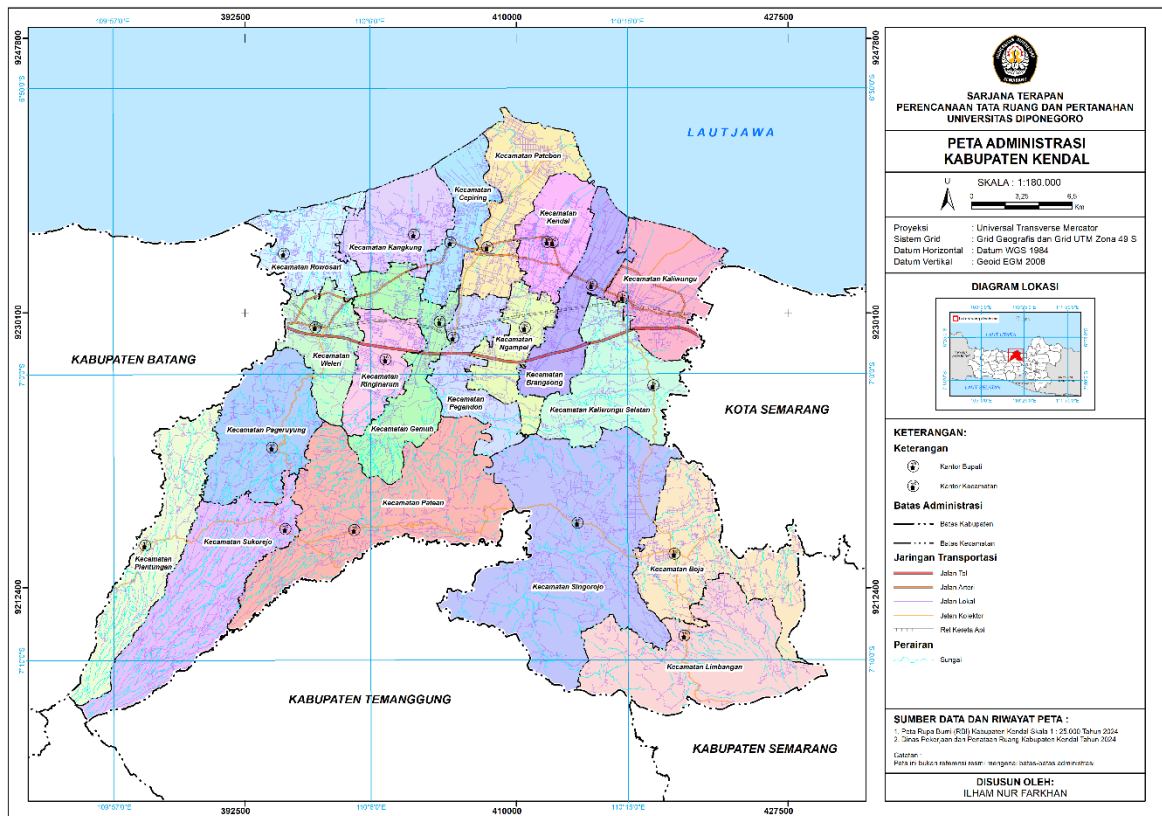
Penelitian ini bertujuan menyusun arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034 berbasis pemodelan spasial. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini memiliki sasaran sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal periode 2004-2024.
2. Mengevaluasi tingkat akurasi hasil interpretasi tutupan lahan sebagai dasar pemodelan spasial.
3. Menganalisis faktor pendorong dan faktor pembatas yang memengaruhi perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal.
4. Memprediksi perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034 menggunakan integrasi *Markov Chain* dan *Framework Future Land Use Simulation*.
5. Menentukan arahan lokasi pengembangan permukiman tahun 2034 berdasarkan hasil pemodelan spasial.

1.4 Ruang Lingkup

1.4.1 Ruang Lingkup Wilayah

Kabupaten Kendal merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki posisi strategis karena termasuk dalam Kawasan Perkotaan Kedungsepur sebagai Kawasan Strategis Nasional dari sudut kepentingan pertumbuhan ekonomi (Peraturan Presiden Nomor 60 Tahun 2022). Secara astronomis, Kabupaten Kendal terletak antara 109°40'19"-110°18'36" Bujur Timur dan 6°38'26"-7°24'6" Lintang Selatan. Kabupaten Kendal memiliki luas sekitar 100.396 hektar yang terbagi ke dalam 20 kecamatan, 266 desa, dan 20 kelurahan. Berikut merupakan Peta Administrasi Kabupaten Kendal.



Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.1 Peta Administrasi Kabupaten Kendal

Secara administratif wilayah Kabupaten Kendal terbagi menjadi 20 Kecamatan 266 Desa dan 20 Kelurahan, dengan wilayah yang berbatasan dengan daerah seperti berikut:

- Sebelah Utara : Laut Jawa
- Sebelah Timur : Kota Semarang dan Kabupaten Semarang
- Sebelah Selatan : Kabupaten Temanggung
- Sebelah Barat : Kabupaten Batang

Tabel 1.1 Luas Administrasi Kecamatan di Kabupaten Kendal

No	Administrasi Kecamatan	Luas (Ha)
1.	Kecamatan Boja	6.182,65
2.	Kecamatan Brangsong	3.442,06
3.	Kecamatan Cepiring	2.525,18
4.	Kecamatan Gemuh	4.274,53
5.	Kecamatan Kaliwungu	4.354,07
6.	Kecamatan Kaliwungu Selatan	5.139,36
7.	Kecamatan Kangkung	3.541,80
8.	Kecamatan Limbangan	7.805,48
9.	Kecamatan Ngampel	2.500,90
10.	Kecamatan Pageruyung	5.186,93

No	Administrasi Kecamatan	Luas (Ha)
11.	Kecamatan Patean	10.338,94
12.	Kecamatan Pegandon	3.071,66
13.	Kecamatan Plantungan	5.172,17
14.	Kecamatan Ringinarum	2.528,81
15.	Kecamatan Rowosari	2.963,77
16.	Kecamatan Singorojo	13.805,68
17.	Kecamatan Sukorejo	7.356,45
18.	Kecamatan Weleri	2.957,17
19.	Kecamatan Kendal	2.867,92
20.	Kecamatan Patebon	4.380,07
Total Luas (Ha)		100.396,00

Sumber: Penyusun, 2026

1.4.2 Ruang Lingkup Materi

Ruang lingkup materi dalam penelitian ini mencakup lima aspek utama yang saling berkaitan dalam kajian perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal, yaitu:

1. Analisis Tren Perubahan Tutupan Lahan

Analisis tren perubahan tutupan lahan dilakukan untuk mengidentifikasi dinamika perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal periode 2004-2024.

2. Analisis Uji Akurasi Tutupan Lahan

Analisis uji akurasi tutupan lahan dilakukan untuk menilai tingkat ketelitian hasil interpretasi citra terhadap kondisi aktual. Pengujian dilakukan menggunakan *confusion matrix* untuk menghasilkan nilai *overall accuracy* dan *koefisien kappa* (Li et al., 2023).

3. Analisis Faktor Perkembangan Permukiman

Analisis faktor perkembangan permukiman dilakukan untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang memengaruhi pertumbuhan permukiman di Kabupaten Kendal. Analisis dilakukan secara spasial untuk mengetahui tingkat kedekatan setiap lokasi terhadap faktor-faktor tersebut (Benabbou, 2024).

4. Analisis Prediksi Perkembangan Permukiman

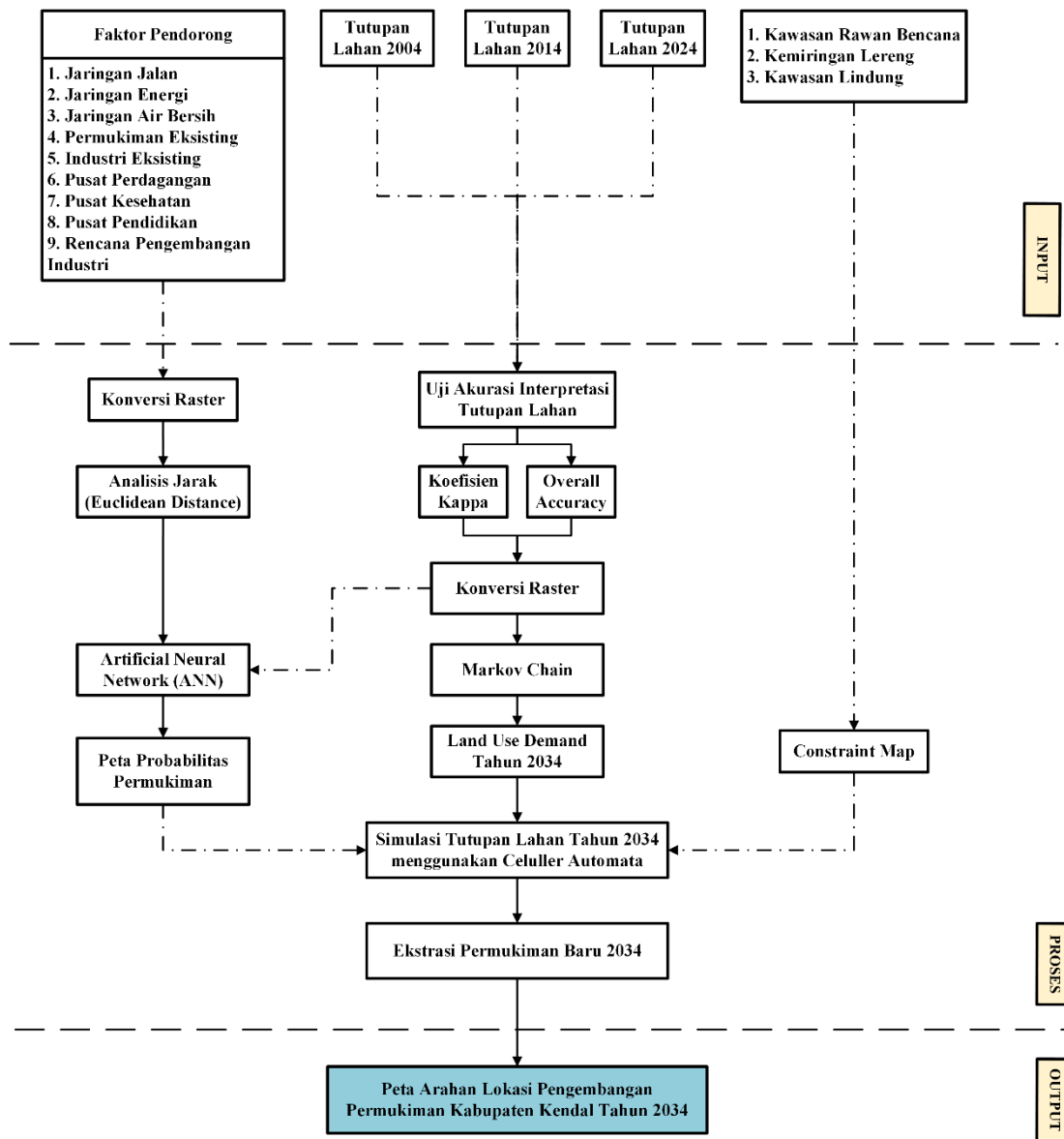
Analisis prediksi perkembangan permukiman dilakukan untuk memperkirakan arah dan pola perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal hingga tahun 2034.

5. Analisis Arah Lokasi Pengembangan Permukiman

Analisis arahan lokasi pengembangan permukiman dilakukan untuk menentukan lokasi pengembangan permukiman baru di Kabupaten Kendal pada tahun 2034.

1.5 Tahapan/Proses

Adapun rangkaian tahapan dan proses yang dilaksanakan dalam kegiatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:



Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.2 Diagram Alir Tahapan/Proses

1.5.1 Tahap Persiapan

1. Identifikasi Masalah

Tahapan identifikasi masalah merupakan langkah awal untuk merumuskan isu utama terkait kebutuhan pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal. Seiring dengan perkembangan industri, Perkembangan industri berpotensi memengaruhi kebutuhan ruang, pertumbuhan penduduk, serta perubahan penggunaan lahan di sekitarnya. Apabila perkembangan permukiman tidak diarahkan dengan tepat, maka dapat

menimbulkan ketidaksesuaian dengan rencana tata ruang, tekanan terhadap lahan pertanian, serta munculnya permukiman pada kawasan yang kurang sesuai. Penelitian ini dilakukan untuk menyusun arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034 berbasis pemodelan spasial.

2. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk mengkaji teori, konsep, regulasi, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengembangan permukiman, industri, perubahan penggunaan lahan, pemodelan spasial, serta kebijakan tata ruang. Kajian ini digunakan sebagai dasar dalam menyusun kerangka berpikir, menentukan variabel penelitian, dan memilih metode analisis yang sesuai dengan tujuan penelitian. Studi literatur juga mencakup kajian terhadap dokumen peraturan dan kebijakan, seperti RTRW Kabupaten Kendal, serta peraturan terkait perumahan dan kawasan permukiman. Melalui studi literatur ini, penelitian memiliki landasan teoritis dan kebijakan dalam menentukan arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal Tahun 2034.

1.5.2 Tahap Pengumpulan Data

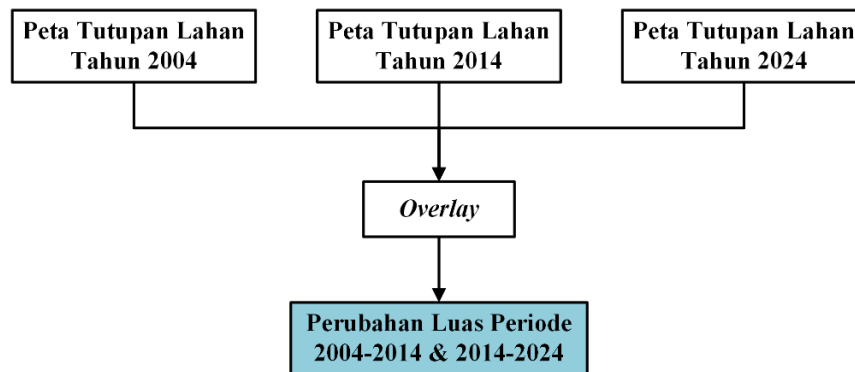
Tahap pengumpulan data merupakan proses penting yang dilakukan untuk memperoleh seluruh informasi yang dibutuhkan dalam mendukung penelitian. Pada tahap ini, peneliti menghimpun berbagai jenis data yang berkaitan dengan topik kajian, fenomena yang sedang berlangsung, serta karakteristik wilayah studi. Data yang diperoleh nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam analisis, pemodelan, dan interpretasi hasil penelitian agar sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

1.5.3 Tahap Analisis

Pada tahapan analisis dilakukan proses pengolahan, evaluasi, dan interpretasi terhadap seluruh data yang telah dikumpulkan untuk menjawab tujuan penelitian. Analisis dilakukan secara bertahap sehingga hasil dari setiap tahapan menjadi masukan (*input*) pada tahapan berikutnya. Tahapan analisis dalam penelitian ini meliputi analisis perubahan tutupan lahan, uji akurasi interpretasi tutupan lahan, analisis faktor pendorong permukiman, analisis pembatas permukiman, pemodelan prediksi permukiman, serta analisis arahan lokasi pengembangan permukiman. Untuk memudahkan pemahaman terhadap alur penelitian, setiap tahapan analisis disajikan dalam bentuk diagram alir dan dijelaskan secara rinci pada uraian berikut.

1. Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan untuk mengetahui pola dan besarnya perubahan tutupan lahan di Kabupaten Kendal selama periode tahun 2004-2014 dan 2014-2024. Analisis dilakukan dengan teknik *overlay* terhadap peta tutupan lahan tahun 2004, 2014, dan 2024 sehingga diperoleh informasi mengenai perubahan luas setiap kelas tutupan lahan, khususnya perubahan kawasan permukiman. Hasil analisis ini digunakan sebagai dasar dalam mengidentifikasi dinamika perkembangan permukiman serta sebagai data masukan pada proses pemodelan menggunakan aplikasi GeoSOS-FLUS.

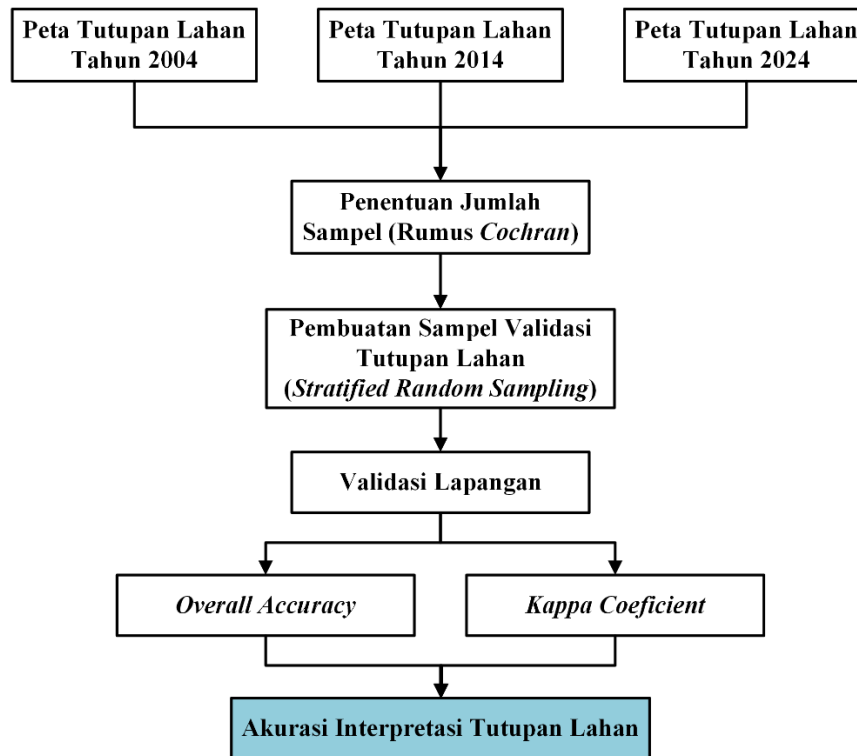


Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.3 Diagram Analisis Perubahan Tutupan Lahan

2. Analisis Uji Akurasi Interpretasi Tutupan Lahan

Uji akurasi interpretasi tutupan lahan dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian hasil klasifikasi sebelum digunakan dalam proses pemodelan. Pengujian dilakukan menggunakan *Confusion Matrix* dengan menghitung nilai *Overall Accuracy* (OA) dan *Kappa Accuracy* (KA). Nilai *Overall Accuracy* digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan klasifikasi secara keseluruhan, sedangkan *Kappa Accuracy* digunakan untuk mengukur tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi dengan data referensi. Hasil uji akurasi menjadi dasar untuk memastikan bahwa data tutupan lahan yang digunakan memiliki tingkat kepercayaan yang memadai sehingga layak digunakan pada proses analisis selanjutnya.

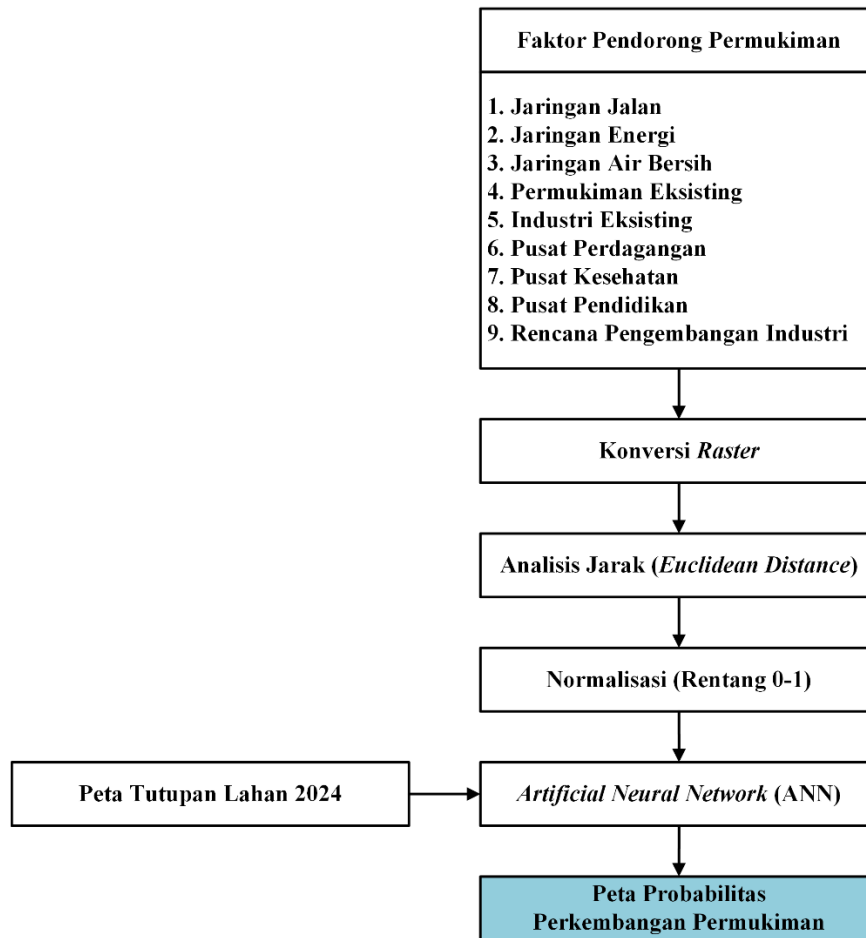


Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.4 Diagram Analisis Uji Akurasi Tutupan Lahan

3. Analisis Faktor Pendorong Permukiman

Analisis faktor pendorong dilakukan untuk mengetahui pengaruh berbagai variabel terhadap perkembangan permukiman di Kabupaten Kendal. Variabel yang digunakan meliputi rencana pengembangan industri, industri eksisting, jaringan jalan, jaringan air bersih, jaringan energi, pusat perdagangan, pusat pendidikan, pusat kesehatan, dan permukiman eksisting. Seluruh data diubah ke dalam format *raster* kemudian dilakukan analisis *Euclidean Distance* untuk memperoleh informasi kedekatan setiap lokasi terhadap faktor pendorong. Selanjutnya, seluruh hasil *raster distance* dinormalisasi ke dalam rentang nilai 0-1 sehingga dapat digunakan sebagai data masukan pada proses pelatihan *Artificial Neural Network* (ANN) di aplikasi GeoSOS-FLUS.

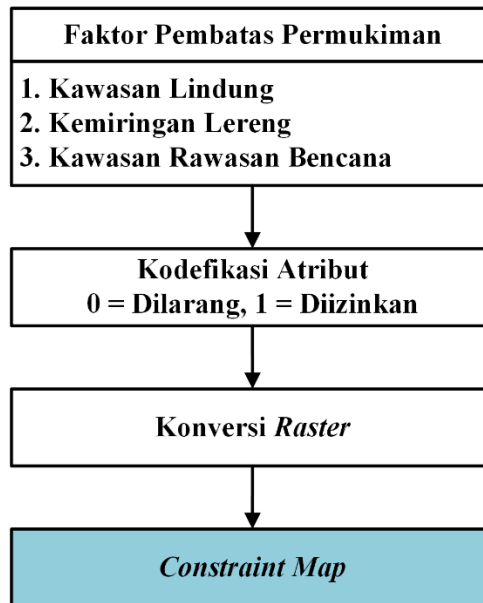


Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.5 Diagram Analisis Faktor Pendorong Permukiman

4. Analisis Faktor Pembatas Permukiman

Analisis faktor pembatas permukiman dilakukan untuk mengidentifikasi wilayah yang dibatasi dalam proses simulasi perkembangan permukiman. Faktor pembatas yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kawasan lindung, kemiringan lereng, dan kawasan rawan bencana. Pada setiap data vektor dilakukan proses kodefikasi dengan menambahkan nilai atribut, yaitu 0 untuk kawasan yang tidak diperbolehkan mengalami perubahan menjadi permukiman dan 1 untuk kawasan yang diperbolehkan mengalami perubahan. Selanjutnya, data vektor dikonversi ke dalam format *raster* dengan mempertahankan nilai atribut tersebut sehingga diperoleh *restriction layer* yang digunakan sebagai data masukan pada aplikasi GeoSOS-FLUS. Dengan adanya pembatas ini, proses simulasi perkembangan permukiman hanya dilakukan pada wilayah yang memenuhi kriteria pengembangan.

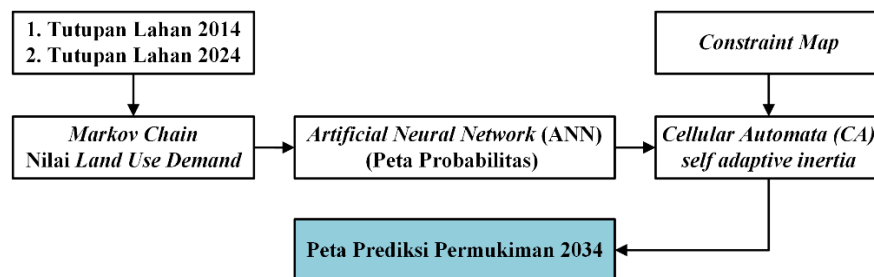


Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.6 Diagram Analisis Faktor Pembatas Permukiman

5. Analisis Prediksi Permukiman

Pemodelan prediksi permukiman dilakukan menggunakan aplikasi GeoSOS-FLUS dengan mengintegrasikan *Markov Chain*, *Artificial Neural Network* (ANN), dan *Cellular Automata* (CA). *Markov Chain* digunakan untuk menghitung kebutuhan (*demand*) luas perubahan penggunaan lahan berdasarkan pola transisi tutupan lahan pada periode sebelumnya. *Artificial Neural Network* (ANN) digunakan untuk mempelajari hubungan antara faktor-faktor pendorong dan perubahan penggunaan lahan sehingga menghasilkan peta probabilitas perkembangan permukiman. Kinerja model ANN dievaluasi menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Peta probabilitas yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai data masukan pada model *Cellular Automata* (CA) untuk mengalokasikan perubahan penggunaan lahan secara spasial dengan mempertimbangkan kebutuhan luas hasil *Markov Chain*, dan *Constraint Map*.



Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.7 Diagram Analisis Prediksi Permukiman

6. Analisis Arahkan Lokasi Pengembangan Permukiman

Analisis arahan lokasi pengembangan permukiman bertujuan untuk mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami penambahan permukiman baru berdasarkan hasil simulasi prediksi permukiman. Proses analisis dilakukan melalui teknik *overlay* dengan memanfaatkan *tools Erase* pada perangkat lunak *ArcGIS*, Area residual yang diperoleh dari proses tersebut selanjutnya diinterpretasikan sebagai zona penambahan permukiman baru, yang kemudian ditetapkan sebagai arahan lokasi pengembangan permukiman tahun 2034. Hasil analisis disajikan dalam bentuk peta beserta luasan area penambahan permukiman di setiap kecamatan sebagai dasar dalam perencanaan dan pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal.



Sumber: Penyusun, 2026

Gambar 1.8 Diagram Analisis Arahan Lokasi Permukiman

1.6 Metode dan Hasil Akhir

1.6.1 Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengumpulan data sekunder dan data primer. Data sekunder diperoleh melalui telaah dokumen dari instansi terkait dan sumber citra satelit, sedangkan data primer diperoleh melalui validasi lapangan pada titik sampel tutupan lahan. Data primer tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi aktual di lapangan sebagai dasar dalam uji akurasi hasil interpretasi tutupan lahan. Adapun rincian kebutuhan data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1.2 Kebutuhan Data

No	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Tahun	Teknik Pengumpulan Data	Sumber
1.	Jaringan Jalan	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	DPUPR Kab. Kendal
2.	Jaringan Air Bersih	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	DPUPR Kab. Kendal

No	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Tahun	Teknik Pengumpulan Data	Sumber
3.	Jaringan Energi	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	PT. PLN Kab Kendal
4.	Fasilitas Perdagangan	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	Dinas Koperasi dan UMKM Kab. Kendal
5.	Fasilitas Pendidikan	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	Dinas Pendidikan Kab. Kendal
6.	Fasilitas Kesehatan	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	Dinas Kesehatan Kab. Kendal
7.	Permukiman Eksisting	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	DPUPR Kab. Kendal
8.	Industri	Sekunder	Shapefile	2004 - 2024	Telaah Dokumen	Dinas Perindustrian Kab. Kendal
9.	Rencana Pola Ruang	Sekunder	Shapefile	2024 - 2034	Telaah Dokumen	DPUPR Kab. Kendal
10.	Kawasan Rawan Bencana	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	BPBD Kab. Kendal
11.	Kemiringan Lereng	Sekunder	<i>Raster</i>	2024	Telaah Dokumen	Badan Informasi Geospasial
12.	Tutupan Lahan	Sekunder	Shapefile	2024	Telaah Dokumen	DPUPR Kab. Kendal
13.	Citra Landsat 9	Sekunder	<i>Raster</i>	2024	Telaah Dokumen	USGS EarthExplorer.
14.	Citra Landsat 8	Sekunder	<i>Raster</i>	2014	Telaah Dokumen	USGS EarthExplorer.
15.	Citra Landsat 5	Sekunder	<i>Raster</i>	2004	Telaah Dokumen	USGS EarthExplorer.
16.	Validasi Lapangan	Primer	Titik Sampel Validasi	2024	Observasi Lapangan, Wawancara	Survei Lapangan

Sumber: Penyusun, 2026

1.6.2 Metode Analisis

a. *Artificial Neural Network* (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) digunakan untuk mempelajari hubungan antara perubahan tutupan lahan historis dan faktor-faktor pendorong perkembangan permukiman (Jain, 2024). Dalam penelitian ini, ANN berfungsi menghasilkan peta probabilitas perubahan penggunaan lahan berdasarkan kedekatan terhadap variabel pendorong, seperti jaringan infrastruktur, industri, permukiman eksisting, dan fasilitas pelayanan. Proses pelatihan model dilakukan pada aplikasi GeoSOS-FLUS, dan kualitas hasil pelatihan dievaluasi menggunakan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Semakin kecil nilai RMSE, semakin baik kemampuan model dalam merepresentasikan pola perubahan lahan.

b. *Euclidean Distance*

Euclidean Distance digunakan untuk menghitung jarak lurus terdekat dari setiap sel *raster* terhadap objek spasial yang berpengaruh terhadap perkembangan permukiman (Mehra & Swain, 2024). Dalam penelitian ini, *Euclidean Distance* diterapkan pada beberapa variabel pendorong, seperti jaringan infrastruktur, industri, permukiman eksisting, dan fasilitas pelayanan. Hasil dari analisis ini berupa *raster* jarak yang menunjukkan tingkat kedekatan suatu lokasi terhadap masing-masing variabel pendorong. *Raster* jarak tersebut kemudian digunakan sebagai input dalam proses pelatihan ANN pada GeoSOS-FLUS untuk menghasilkan peta probabilitas perkembangan permukiman.

c. *Markov Chain* dan *Cellular Automata* dalam FLUS

Prediksi perkembangan permukiman dalam penelitian ini menggunakan *Framework Future Land Use Simulation* (FLUS) yang mengintegrasikan *Markov Chain* dan *Cellular Automata* (Wang et al., 2024). *Markov Chain* digunakan untuk menghitung proyeksi perkembangan masing-masing kelas tutupan lahan berdasarkan *probabilitas* transisi dari data historis. Selanjutnya, *Cellular Automata* digunakan untuk mensimulasikan alokasi spasial perubahan lahan dengan mempertimbangkan pengaruh lingkungan sekitar, peta *probabilitas* hasil ANN, dan *constraint* map. Melalui pendekatan ini, model tidak hanya memperkirakan besarnya perubahan, tetapi juga menunjukkan lokasi perubahan yang berpotensi terjadi secara spasial.

d. *Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient*

Overall Accuracy dan *Koefisien Kappa* digunakan untuk menilai tingkat ketelitian hasil interpretasi tutupan lahan (Chen et al., 2024). Kedua indikator tersebut dihitung berdasarkan *confusion matrix* hasil perbandingan antara kelas tutupan lahan hasil interpretasi dan data referensi. *Overall Accuracy* menunjukkan persentase ketepatan klasifikasi secara umum, sedangkan *Koefisien Kappa* menunjukkan tingkat kesesuaian klasifikasi dengan mempertimbangkan kemungkinan kesesuaian yang terjadi secara kebetulan. Data tutupan lahan dinilai layak digunakan sebagai dasar pemodelan apabila memiliki tingkat akurasi yang memadai.

e. *Overlay*

Analisis *overlay* digunakan untuk mengidentifikasi area pengembangan permukiman baru berdasarkan hasil prediksi tutupan lahan tahun 2034 (Zaniboni et al., 2024). Analisis dilakukan dengan mengabungkan hasil prediksi tahun 2034 dengan peta permukiman eksisting tahun 2024 sehingga dapat diketahui area yang mengalami

perkembangan permukiman selama periode 2024-2034. Melalui teknik ini, kawasan yang telah menjadi permukiman pada tahun 2024 dapat dipisahkan dari kawasan permukiman baru hasil prediksi. Hasil akhir dari analisis *overlay* berupa peta arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034.

1.6.3 Hasil akhir

Hasil akhir penelitian ini berupa peta arahan lokasi pengembangan permukiman di Kabupaten Kendal tahun 2034. Peta tersebut menggambarkan sebaran wilayah yang berpotensi berkembang sebagai kawasan permukiman berdasarkan hasil prediksi perkembangan permukiman menggunakan *Framework Future Land Use Simulation* (FLUS). Area yang teridentifikasi merupakan hasil perkembangan permukiman selama periode 2024-2034 yang dipengaruhi oleh faktor pendorong perkembangan wilayah dan telah mempertimbangkan faktor pembatas dalam proses simulasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan dalam perencanaan permukiman di Kabupaten Kendal pada tahun 2034 secara lebih terarah dan berkelanjutan.