

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hutan mangrove adalah ekosistem pesisir yang sangat penting, tumbuh di area terlindung seperti teluk dan muara sungai yang kaya akan lumpur (Citra dkk., 2015). Ekosistem ini memiliki peran vital secara ekologis dan ekonomi, khususnya bagi masyarakat pesisir. Mangrove berfungsi sebagai pelindung alami dari abrasi pantai, habitat penting bagi berbagai spesies ikan dan biota laut, serta penyerap karbon yang efektif dalam mitigasi perubahan iklim. Selain itu, mangrove juga berperan sebagai zona penyangga yang melindungi daratan dari intrusi air laut dan menjadi area pemijahan (*nursery ground*) bagi berbagai jenis ikan ekonomis penting. Berdasarkan Satu Peta Mangrove Nasional, luas hutan mangrove di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 3.361.216 ha (Rahadian dkk., 2019).

Kabupaten Demak mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan selama periode 2007-2018. Terjadi pengalihan lahan dari kategori Penggunaan Lainnya (meliputi sawah, kebun, lahan kosong, dan tambak) yang menurun sebesar 3.074,85 Ha (dari 23.626,37 Ha menjadi 20.551,52 Ha). Lahan-lahan ini sebagian besar berubah menjadi permukiman yang meningkat sebesar 1.846,57 Ha, industri bertambah 159,7 Ha, dan perdagangan/jasa bertambah 67,9 Ha. (Dewi & Janu Amarrohman, 2019). Penurunan luas kawasan mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Demak terjadi secara signifikan dengan pengurangan terbesar tercatat di Kecamatan Wedung pada Kelurahan/Desa Berahan Kulon sebesar 166,35 Ha pada rentang tahun 2016-2017 dan 126,17 Ha pada rentang tahun 2017-2019. Total pengurangan kawasan mangrove mencapai 422,84 Ha untuk periode 2016-2017 dan 476,94 Ha untuk periode 2017-2019. Penurunan ini terutama disebabkan oleh besarnya kekuatan gelombang laut yang mengakibatkan abrasi pantai, sehingga mengikis dan menghilangkan area mangrove yang berada di sepanjang garis pantai tersebut (Akbaruddin dkk., 2020). Berbagai penggunaan lahan yang menurun, ekosistem mangrove memerlukan perhatian khusus karena peran ekologisnya yang tidak tergantikan. Data dari Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2011 menunjukkan bahwa Kabupaten Demak mengalami erosi pantai terluas kedua setelah Kabupaten Brebes dengan luas 1.016,22 ha (Faturrohman & Marjuki, 2017).

Konversi menjadi tambak udang dan ikan menjadi penyebab utama berkurangnya kawasan mangrove. Pembukaan lahan tambak mengharuskan penebangan dan pencabutan pohon mangrove dalam jumlah besar, sehingga merusak ekosistem pesisir secara signifikan (Ilman dkk., 2016). Praktik ini tidak hanya mengurangi tutupan mangrove tetapi juga mengubah karakteristik tanah dan aliran air di kawasan pesisir. Hutan bakau di kawasan pesisir Kabupaten Demak sebagian besar telah rusak. Berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Demak, kerusakan ekosistem mangrove mencapai sekitar 8% pada tahun 2011 dan meningkat menjadi 13,86% di tahun 2012. Degradasi ini membuat daerah daratan di sekitar pesisir Demak menjadi rentan terhadap arus, gelombang, pasang surut, dan angin karena hilangnya perlindungan alami (Faturrohman & Marjuki, 2017).

Teknologi penginderaan jauh kini menjadi cara efektif untuk memantau perubahan lahan mangrove. Teknologi ini memungkinkan pemantauan rutin dan menyeluruh terhadap perubahan tutupan mangrove pada area yang luas. Pada studi *Global Mangrove Watch*, analisis perubahan tutupan mangrove dengan citra satelit Landsat menunjukkan akurasi mencapai 85% (Wolter & Townsend, 2011). Kombinasi citra satelit multispektral dan teknik klasifikasi machine learning menghasilkan pemetaan perubahan ekosistem mangrove yang lebih tepat, yang membantu mengidentifikasi area kritis dan potensi degradasi lahan (Brown et al., 2014). Kemajuan teknologi sensor dan pengolahan citra meningkatkan kemampuan dalam membedakan jenis vegetasi mangrove dan mengukur parameter biofisiknya. Informasi spasial yang akurat tidak hanya membantu pemantauan, tetapi juga mendukung perencanaan konservasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove yang berkelanjutan.

Penginderaan jauh adalah metode yang efektif untuk mendapatkan informasi cepat, tepat, dan murah tentang permukaan bumi tanpa kontak langsung, melainkan melalui pantulan atau pancaran gelombang elektromagnetik (Suwargana, 2013). Teknologi ini menggunakan berbagai sensor pada satelit atau pesawat untuk mengumpulkan data dari permukaan bumi. Keunggulannya adalah kemampuan mencakup area luas dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan survei lapangan. Teknologi ini penting dalam mendukung perencanaan, perlindungan, dan rehabilitasi ekosistem mangrove yang rentan terhadap perubahan (Verburg et al., 2004). Kemampuan mengumpulkan data secara berkala memungkinkan analisis tren perubahan penggunaan lahan dalam periode waktu tertentu. Perkembangan teknologi telah meningkatkan akurasi dan keandalan data, sehingga memungkinkan pemantauan perubahan lingkungan dengan detail yang lebih tinggi dan mendukung pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan (Kusuma dkk., 2016)

Prediksi perubahan ekosistem mangrove dengan metode *Cellular Automata* (CA) dapat digunakan untuk memodelkan perubahan spasial berdasarkan interaksi antar-sel dan kondisi lingkungan sekitar (Liu & Phinn, 2003). Pendekatan ini menggunakan grid spasial dimana setiap sel memiliki status tertentu yang dapat berubah berdasarkan aturan yang ditentukan. Metode ini memungkinkan proyeksi penggunaan lahan dari masa lalu hingga masa depan, memberikan informasi penting untuk evaluasi RTRW. Model CA efektif dalam mensimulasikan perubahan tutupan lahan karena kemampuannya mempertimbangkan berbagai faktor pendorong perubahan secara bersamaan. Keunggulan model CA adalah fleksibilitasnya dalam mengintegrasikan berbagai variabel biofisik dan sosial-ekonomi. Implementasi model ini dapat ditingkatkan dengan teknik machine learning untuk mengoptimalkan parameter, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan mendukung perencanaan tata ruang untuk menjaga keberlanjutan ekosistem pesisir.

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan kawasan hutan mangrove di Kabupaten Demak menggunakan pendekatan yang komprehensif dan terintegrasi. Teknologi penginderaan jauh dan model *Cellular Automata* digunakan untuk menghasilkan informasi penting bagi evaluasi dan arahan pola ruang RTRW yang lebih berkelanjutan. Pemahaman yang lebih baik tentang pola dan tren perubahan kawasan mangrove akan membantu pemangku kepentingan dalam mengembangkan strategi pengelolaan yang lebih efektif untuk melindungi dan memulihkan ekosistem mangrove yang vital ini.

1.2 Rumusan Permasalahan

Penurunan kawasan mangrove di Kabupaten Demak yang signifikan selama periode 2016-2019 dengan total pengurangan mencapai 422,84 Ha pada periode 2016-2017 dan 476,94 Ha pada periode 2017-2019 (Akbaruddin dkk., 2020). berpotensi mengganggu pola ruang yang telah ditetapkan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Konversi lahan mangrove akibat pembukaan tambak, pemukiman, dan kegiatan ekonomi lainnya (Dewi & Janu Amarrohman, 2019) tidak selaras dengan arahan pola ruang dalam dokumen RTRW Kabupaten Demak. Berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan, kerusakan ekosistem mangrove meningkat dari 8% pada tahun 2011 menjadi 13,86% pada tahun 2012 (Faturrohman & Marjuki, 2017). Apabila pemerintah tidak melakukan evaluasi dan penyesuaian pola ruang, maka akan terjadi kesenjangan antara perencanaan tata ruang dengan kondisi aktual kawasan pesisir. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya fungsi ekologis mangrove, meningkatnya kerentanan wilayah pesisir terhadap bencana alam, serta hilangnya zona penyangga yang telah direncanakan dalam dokumen RTRW.

1.3 Tujuan dan Sasaran

1.3.1 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai berdasarkan rumusan masalah di atas yaitu melakukan evaluasi dan arahan pola ruang RTRW Kabupaten Demak berdasarkan prediksi perubahan kawasan mangrove dengan metode Cellular Automata, sehingga dapat menjadi bahan masukan bagi pemerintah daerah dalam perencanaan pengelolaan wilayah pesisir dan konservasi ekosistem mangrove di masa mendatang.

1.3.2 Sasaran

Sasaran yang akan dicapai disusun berdasarkan tujuan yang telah dijabarkan sebelumnya, maka disusun sasaran sebagai berikut:

- a. Identifikasi kondisi kawasan mangrove di Kabupaten Demak berdasarkan data penginderaan jauh tahun 2003-2024.
- b. Memodelkan prediksi perubahan kawasan mangrove menggunakan metode *Cellular Automata* Tahun 2031.
- c. Evaluasi implikasi perubahan mangrove terhadap pola ruang RTRW Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.
- d. Arahan penataan pola ruang Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.

1.4 Ruang Lingkup

1.4.1 Ruang Lingkup Materi

Penelitian ini terdiri dari empat aspek utama yang melibatkan identifikasi kawasan mangrove eksisting tahun 2024, pemodelan prediksi perubahan hutan mangrove, , serta evaluasi dan arahan.

1. Identifikasi kawasan mangrove eksisting tahun 2024

Identifikasi dan memetakan kawasan mangrove yang masih eksis pada tahun 2024 di wilayah penelitian. Proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan data citra satelit terbaru yang dikombinasikan dengan data lapangan untuk memastikan keakuratan informasi.

2. Prediksi Perubahan Hutan Mangrove.

Analisis data perubahan hutan mangrove berdasarkan data citra satelit dan pengamatan lapangan dalam kurun waktu tertentu. Penelitian ini akan difokuskan pada wilayah pesisir yang memiliki ekosistem mangrove yang rentan terhadap perubahan, baik yang disebabkan oleh faktor alamiah maupun aktivitas manusia.

Penelitian ini membahas model prediksi perubahan hutan mangrove dan implikasi kebijakan yang relevan. Penelitian ini menggunakan metode *Cellular Automata* (CA) untuk memprediksi perubahan hutan mangrove hingga tahun 2031. Cellular Automata adalah model berbasis grid yang mensimulasikan perubahan spasial berdasarkan aturan transisi dari data historis dan dikombinasikan dengan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN).

3. Evaluasi terhadap pola ruang RTRW Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.

Evaluasi dan pemberian arahan pola ruang dilakukan untuk pertimbangan dalam merumuskan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Demak agar dapat tercapai pembangunan yang berkelanjutan dengan membandingkan antara RTRW Kabupaten Demak tahun 2011-2031 dengan hasil peta hutan mangrove di tahun 2031.

4. Arahan penataan pola ruang Kabupaten Demak Tahun 2011-2031

Arahan pola ruang yang dihasilkan bertujuan mengoptimalkan fungsi kawasan mangrove dalam mendukung keberlanjutan ekologis dan ekonomi wilayah pesisir Kabupaten Demak. Arahan disusun berdasarkan dinamika perubahan mangrove yang teridentifikasi, proyeksi masa depan, dan faktor-faktor pendorong perubahan. Arahan juga mempertimbangkan strategi adaptasi perubahan iklim dengan mengidentifikasi kawasan prioritas rehabilitasi mangrove untuk meningkatkan ketahanan pesisir.

1.4.2 Ruang Lingkup Wilayah

Wilayah pesisir Kabupaten Demak merupakan zona penting untuk pemantauan lingkungan dan perencanaan tata ruang berkelanjutan. Wilayah pesisir adalah daerah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2021). Kawasan pesisir utara provinsi Jawa Tengah ini menghadapi tantangan signifikan terkait urbanisasi cepat dan degradasi ekologis. Area ini berfungsi sebagai koridor transportasi utama yang menghubungkan pusat ekonomi barat (Jakarta) dan timur (Surabaya) pulau Jawa. Pembangunan pelabuhan, jalan tol, dan kawasan industri telah berkontribusi pada perubahan tutupan lahan yang substansial di wilayah ini (Dewa et al., 2022). Kawasan pesisir Kabupaten Demak sangat rentan terhadap tekanan lingkungan, dengan analisis statistik menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki risiko tertinggi konversi lahan pertanian menjadi area terbangun, dengan total sekitar 2.393,06 hektar lahan pertanian yang berpotensi (Zaki et al., 2023).

Secara geografis, Kabupaten Demak terletak di antara 6°43'26" – 7°09'43" Lintang Selatan dan 110°48'47" Bujur Timur. Lokasi Kabupaten Demak yang bersebelahan dengan Kota Semarang, ibukota Provinsi Jawa Tengah, memberikan nilai strategis bagi perkembangan ekonomi dan industrialisasi di kawasan ini.

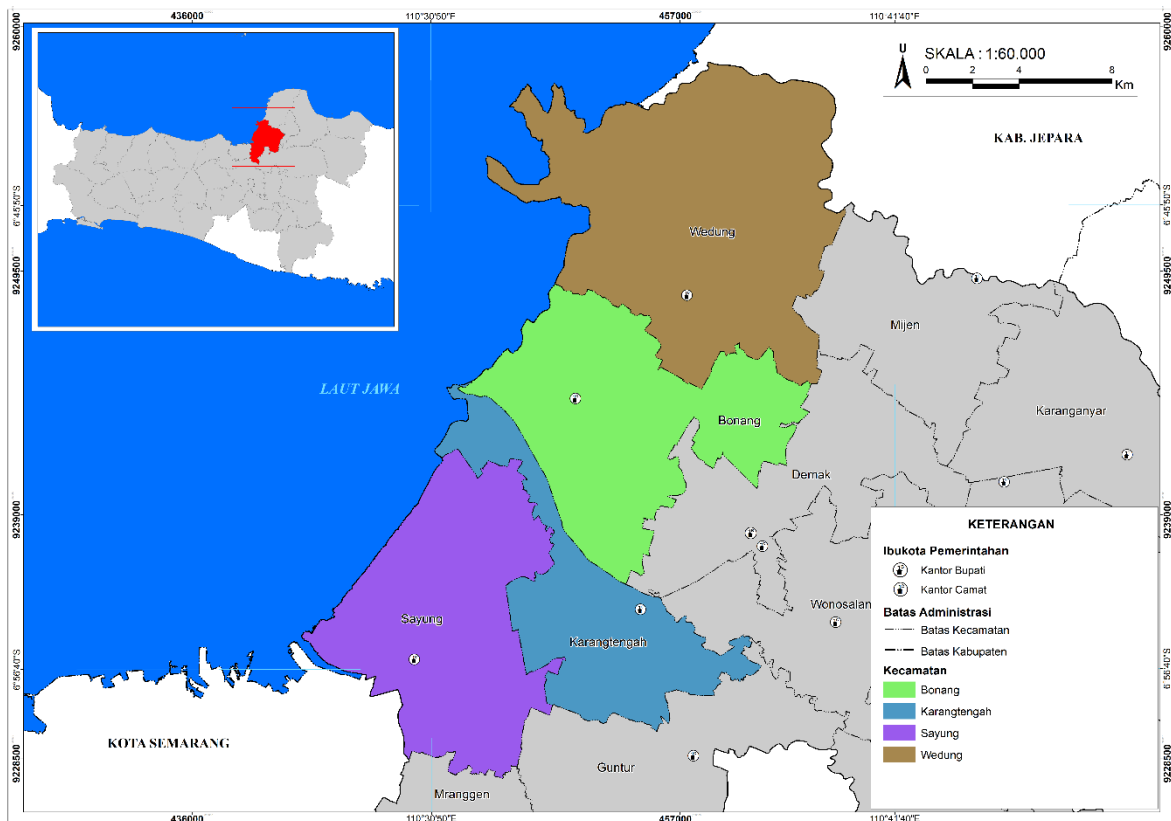
Wilayah pesisir Kabupaten Demak meliputi empat kecamatan yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa, yaitu Kecamatan Sayung, Karangtengah, Bonang, dan Wedung (Faturrohman & Marjuki, 2017). Total luas wilayah keempat kecamatan tersebut mencapai 31.224 Ha dengan batas-batas wilayah:

Sebelah Utara : Kabupaten Jepara dan Laut Jawa

Sebelah Timur : Kabupaten Kudus dan Kabupaten Grobogan

Sebelah Selatan : Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Semarang

Sebelah Barat : Kota Semarang



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 1 Peta Kawasan Pesisir Kabupaten Demak

Penelitian ini didasarkan pada perubahan lingkungan pesisir akan difokuskan pada garis pantai terluar menuju arah daratan, yang mencakup wilayah transisi antara laut dan ekosistem daratan (batas pantai ke daratan) yang dibatasi dengan batas administrasi sepanjang pesisir pantai di Kabupaten Demak.

1.5 Tahapan/Proses

Analisis spasial dan prediksi perubahan kawasan mangrove merupakan instrumen penting dalam perencanaan lingkungan yang berkelanjutan. Studi ini berfokus pada perubahan kawasan mangrove di Kabupaten Demak, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor geografis seperti garis pantai, jaringan sungai, lahan terbangun, dan infrastruktur lainnya. Perubahan yang terjadi dalam kawasan mangrove dapat memberikan dampak signifikan terhadap keseimbangan ekosistem pesisir, sehingga diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai pola perubahan yang terjadi serta bagaimana kecenderungan di masa mendatang. Oleh karena itu, penelitian ini mengadopsi metode berbasis teknologi penginderaan jauh dan pemodelan spasial untuk memahami pola perubahan kawasan mangrove serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Demak.

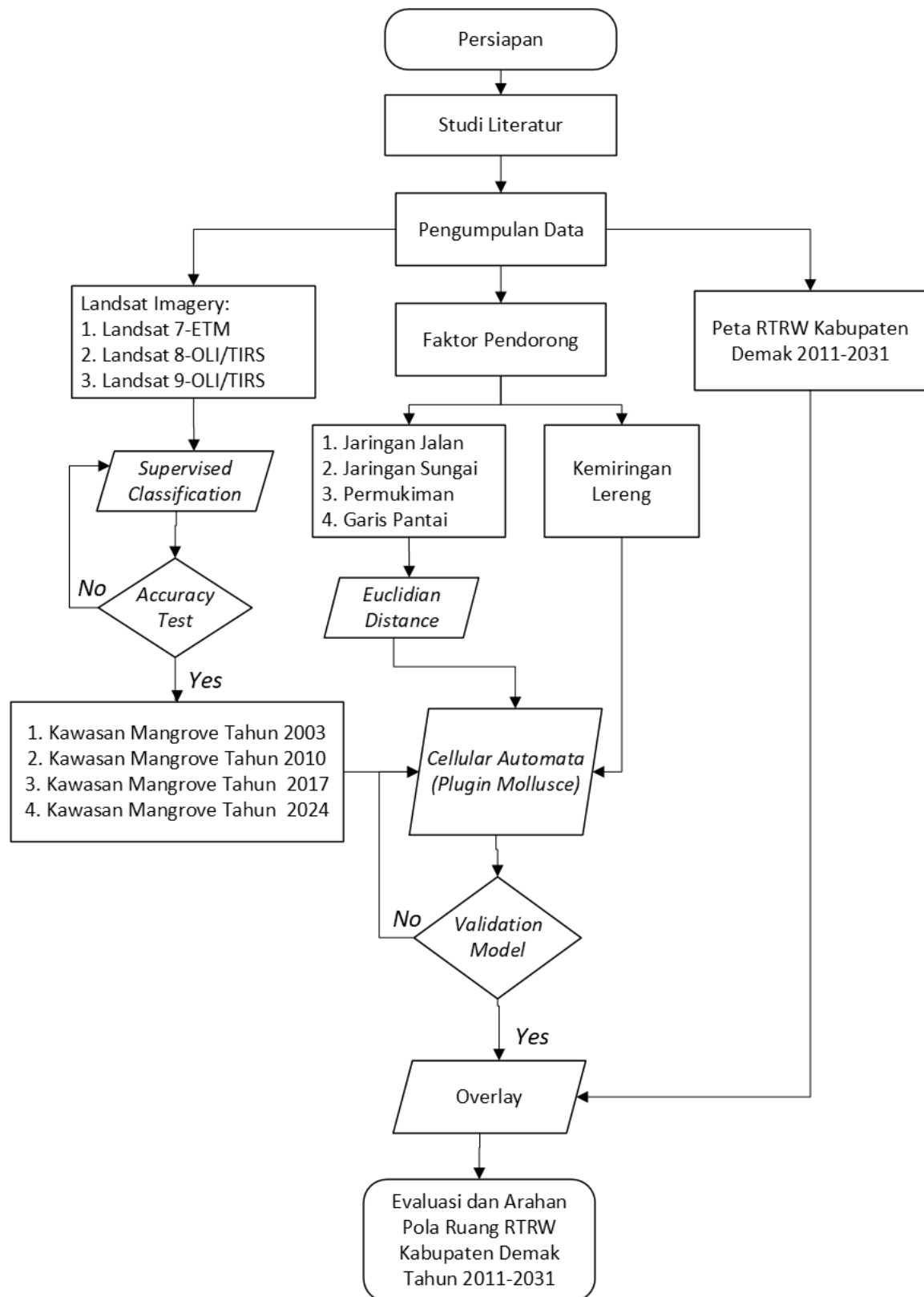
Pendekatan ilmiah yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan integrasi beberapa metode analisis, termasuk klasifikasi citra satelit, sistem informasi geografis (GIS), serta model prediksi berbasis *Cellular Automata*. Perubahan kawasan mangrove dapat dipetakan dengan lebih akurat berdasarkan data historis, yang selanjutnya digunakan untuk memprediksi perubahan di masa mendatang. Analisis ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai distribusi dan luas kawasan mangrove dalam kurun waktu tertentu, serta memungkinkan integrasi faktor pendorong yang memengaruhi perubahan tersebut.

Hasil analisis digunakan untuk menyusun evaluasi dan arahan kebijakan tata ruang yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan ekosistem mangrove. Penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perubahan kawasan mangrove serta mendukung perencanaan tata ruang yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Upaya untuk mengimplementasikan pengelolaan kawasan mangrove yang berkelanjutan memerlukan pendekatan kolaboratif yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan. Pemerintah daerah, komunitas pesisir, akademisi, dan sektor swasta perlu bersinergi dalam mengembangkan strategi konservasi yang efektif dan program rehabilitasi yang tepat sasaran. Kolaborasi ini dapat memperkuat sistem monitoring kawasan mangrove secara berkala dan membangun kesadaran masyarakat tentang nilai ekologis dan ekonomis dari ekosistem mangrove. Dengan membangun kerangka kerja pengelolaan yang adaptif, dampak negatif dari perubahan penggunaan lahan dapat diminimalisir dan fungsi ekosistem mangrove dapat dipertahankan secara optimal. Masyarakat pesisir yang menggantungkan kehidupannya pada

sumber daya mangrove memerlukan alternatif mata pencaharian yang berkelanjutan untuk mengurangi tekanan eksploitasi berlebihan terhadap ekosistem mangrove. Pendekatan terpadu ini tidak hanya akan mendukung pelestarian kawasan mangrove tetapi juga meningkatkan resiliensi masyarakat pesisir terhadap perubahan lingkungan dan iklim yang semakin dinamis.

Implementasi teknologi geospasial mutakhir dalam pemantauan perubahan kawasan mangrove merupakan aspek krusial dalam meningkatkan akurasi dan efektivitas pengelolaan. Penggunaan citra multitemporal dengan resolusi tinggi, integrasi data penginderaan jauh serta pemanfaatan algoritma machine learning untuk klasifikasi tutupan mangrove memungkinkan deteksi perubahan yang lebih sensitif dan tepat waktu. Kemampuan mendeteksi degradasi mangrove pada tahap awal akan memberikan waktu respons yang lebih lama bagi pengambil kebijakan untuk mengembangkan strategi mitigasi yang tepat, sehingga mendukung upaya konservasi jangka panjang di Kabupaten Demak. Berikut merupakan diagram alur tahapan/proses yang akan dianalisis :



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 2 Kerangka Perencanaan

1.5.1 Tahapan Persiapan

1. Identifikasi Masalah

Pengelolaan hutan mangrove di Kabupaten Demak adalah penurunan luas dan kerusakan ekosistem mangrove akibat erosi pantai serta konversi lahan menjadi tambak udang dan ikan. Pada tahun 2012, kerusakan ekosistem mangrove mencapai 13,86%, yang melemahkan daya tahan wilayah pesisir terhadap dinamika laut seperti gelombang, arus, dan pasang surut. Selain itu, penurunan luas mangrove berdampak negatif terhadap fungsinya sebagai penyerap karbon dioksida dan penyimpan karbon, sehingga menghambat upaya mitigasi pemanasan global. Pengelolaan yang berkelanjutan juga terhambat oleh kurangnya data akurat mengenai perubahan lahan dan potensi karbon yang tersimpan. Kabupaten Demak Untuk mencegah kerugian yang lebih besar, diperlukan prediksi lahan mangrove guna mengevaluasi pola ruang dan rencana tata wilayah di masa mendatang.

2. Studi Literatur

Pengumpulan berbagai teori yang berkaitan dengan prediksi perubahan lahan mangrove bertujuan untuk memperkuat dasar ilmiah penelitian yang sedang dilakukan. Dengan menganalisis berbagai sudut pandang dan pendekatan, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan ekosistem mangrove. Sumber informasi yang digunakan mencakup jurnal akademik, dokumen kajian, dan buku-buku yang menjelaskan teori serta konsep penting dalam ekologi mangrove, sehingga memberikan konteks yang komprehensif untuk penelitian ini.

Peraturan perundang-undangan yang relevan juga diintegrasikan sebagai sumber penting, karena memberikan kerangka hukum dan kebijakan terkait perlindungan serta pengelolaan lahan mangrove. Sumber konkret lainnya, seperti laporan lapangan dan data statistik, memberikan gambaran nyata tentang kondisi mangrove di lokasi penelitian. Penelitian dapat menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat dan berbasis bukti untuk melestarikan ekosistem mangrove, yang merupakan elemen vital bagi keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat lokal.

1.5.2 Tahapan Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data merupakan langkah penting yang dilakukan untuk mengumpulkan semua informasi yang diperlukan guna mendukung penelitian. Selama proses ini, peneliti berfokus pada pengumpulan berbagai jenis informasi yang relevan dengan topik masalah yang diteliti. Informasi ini mencakup fenomena yang sedang terjadi serta kondisi wilayah studi yang menjadi fokus penelitian.

Peneliti dapat menggunakan berbagai metode pengumpulan data, seperti survei, wawancara, observasi, dan pengumpulan dokumen. Data yang terkumpul akan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai konteks penelitian, sehingga analisis yang dilakukan menjadi lebih akurat dan berbasis bukti. Pengumpulan data yang sistematis dan menyeluruh, peneliti dapat menghasilkan temuan yang signifikan dan memberikan kontribusi terhadap pemahaman yang lebih baik mengenai isu yang dihadapi.

1.5.3 Tahapan Analisis

Tahapan analisis bertujuan untuk menginterpretasikan informasi yang telah diperoleh, mengidentifikasi pola, dan menarik kesimpulan yang relevan. Peneliti akan menggunakan berbagai teknik analisis, baik kualitatif maupun kuantitatif, untuk memahami hubungan antar variabel dan mengevaluasi dampak dari fenomena yang diteliti. Tahapan analisis tidak hanya membantu dalam memahami data, tetapi juga memberikan dasar yang kuat untuk rekomendasi dan keputusan yang diambil berdasarkan hasil penelitian, yang didasarkan pada sasaran, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi kondisi kawasan mangrove di Kabupaten Demak berdasarkan data penginderaan jauh tahun 2003-2024.

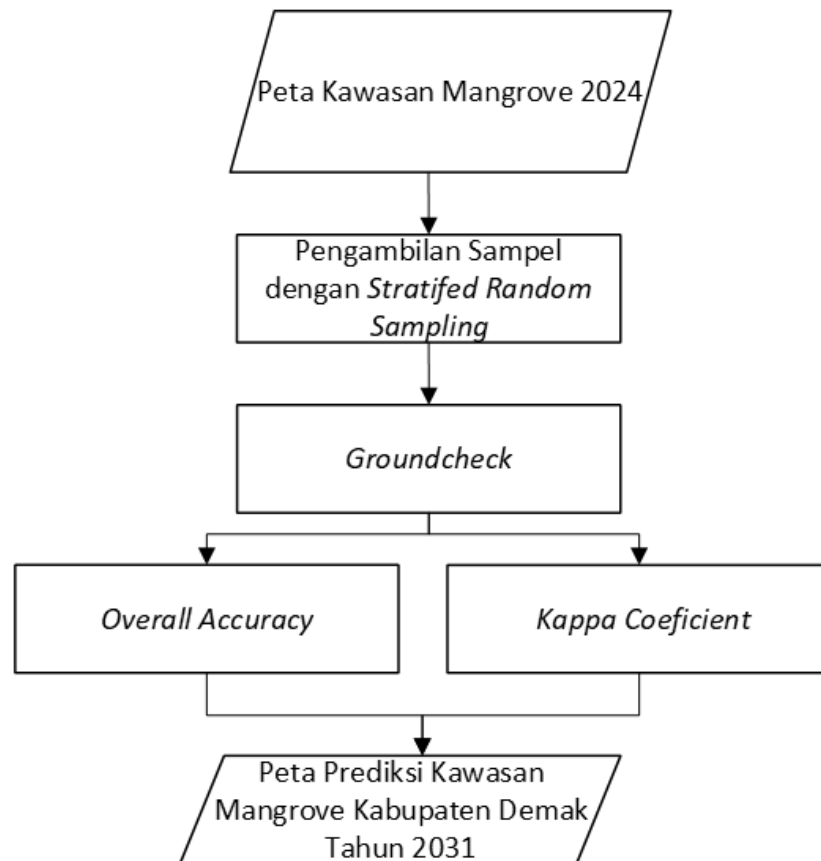
Identifikasi Kawasan mangrove melibatkan analisis gambar yang diambil dari satelit atau pesawat terbang untuk mengekstrak informasi geografis. Salah satu metode yang digunakan dalam interpretasi ini adalah klasifikasi terbimbing (*supervised classification*), di mana peneliti memberikan contoh kelas tertentu untuk melatih algoritma dalam mengidentifikasi fitur-fitur seperti vegetasi, badan air, dan penggunaan lahan. Teknik ini, peneliti dapat secara akurat mengklasifikasikan dan menganalisis data spasial, serta mengevaluasi perubahan yang terjadi di suatu wilayah dengan rencana tata ruang yang telah disusun.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 3 Klasifikasi Citra Terbimbing

Proses Uji Akurasi dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian antara data digital dengan kondisi aktual di lapangan. Metode validasi ini melibatkan pengambilan sampel acak di berbagai titik untuk setiap kategori klasifikasi. Melalui uji validasi ini, tingkat kesesuaian antara hasil interpretasi digital dengan keadaan sebenarnya di lokasi penelitian dapat diketahui.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 4 Uji Akurasi Interpretasi

Penelitian ini menggunakan titik sampel akurasi sebagai instrumen untuk memverifikasi keakuratan hasil interpretasi tutupan lahan yang dihasilkan melalui metode *supervised classification*. Penentuan jumlah sampel uji akurasi dilakukan untuk memastikan bahwa proses validasi model dapat berjalan dengan baik dan menghasilkan hasil yang representatif. Metode yang digunakan untuk menentukan jumlah sampel adalah Peraturan Kepala BIG Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove. Perhitungan jumlah sampel yang diperlukan dilakukan dengan menggunakan formula yang telah ditetapkan dalam

peraturan tersebut, Peraturan ini menentukan jumlah titik sampel minimal berdasarkan skala pemetaan, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 1. 1 Penentuan Sampel Minimal Berdasarkan Skala Peta

Skala	Kelas Kerapatan	Min. Plot	Total Sampel Minimal
1 : 25.000	5	30	50
1 : 50.000	3	20	30
1 : 250.000	2	10	20

Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2014

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah sampel minimal dalam total luas adalah sebagai berikut:

$$TSM + \left(\frac{\text{luas (ha)}}{1500} \right)$$

Keterangan:

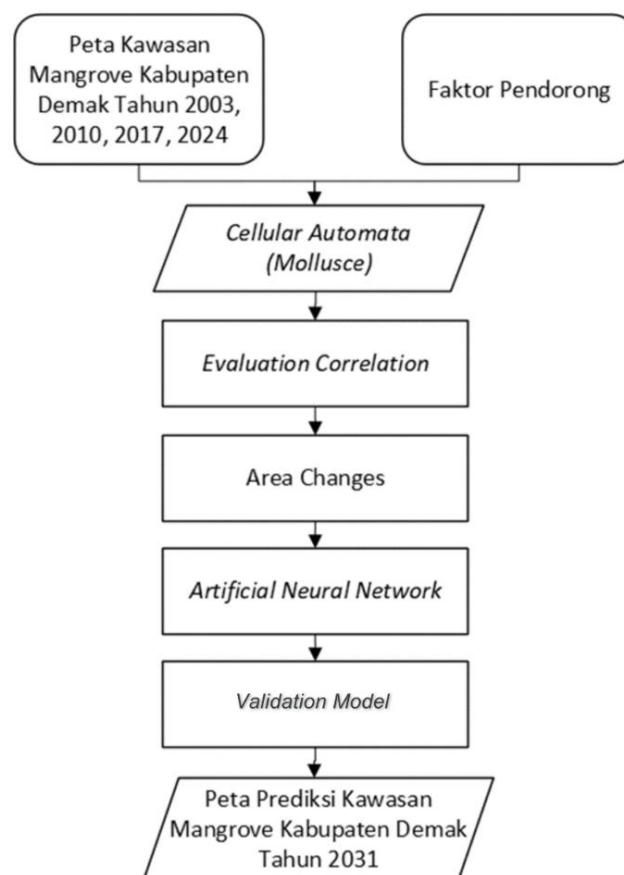
- A : Jumlah Sampel Minimal
- TSM : Total Sampel Minimal

Penentuan titik sampel menggunakan metode *Stratified Random Sampling* yang memastikan keterwakilan seluruh kelas tutupan lahan yang diteliti, dengan jumlah sampel dihitung berdasarkan skala peta yang digunakan dan luas wilayah penelitian.

Proses validasi dilakukan secara sistematis dengan membandingkan hasil klasifikasi pada titik sampel dengan data referensi yang memiliki akurasi lebih tinggi atau observasi lapangan. Hasil dari proses validasi ini kemudian dihitung tingkat akurasinya menggunakan matriks konfusi (*confusion matrix*) yang menghasilkan nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) dan koefisien Kappa.

2. Memodelkan prediksi perubahan kawasan mangrove menggunakan metode Cellular Automata Tahun 2031.

Simulasi Perubahan Kawasan Mangrove diproses dengan Metode *Cellular automata* memungkinkan peneliti untuk mensimulasikan interaksi kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi perubahan lahan, berdasarkan aturan sederhana yang diterapkan pada grid. Pendekatan ini, peneliti dapat memprediksi pola perubahan lahan mangrove di masa depan, memahami dampak dari kebijakan pengelolaan. Pemodelan ini sangat berharga untuk pengambilan keputusan dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

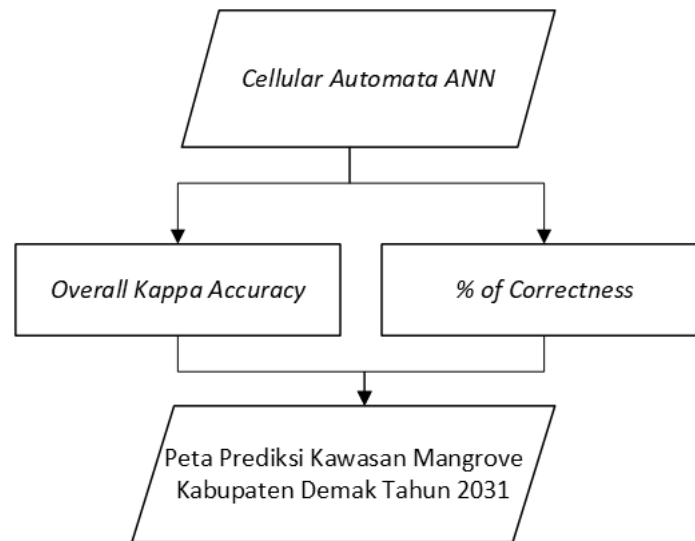


Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 5 Simulasi Prediksi Perubahan Kawasan Mangrove

Validasi model adalah proses penting dalam memastikan keakuratan dan keandalan hasil prediksi yang dihasilkan oleh suatu metode pemodelan. Dalam konteks penggunaan *Cellular Automata* (CA) yang dikombinasikan dengan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi perubahan kawasan mangrove, validasi dilakukan

untuk mengevaluasi seberapa baik model tersebut merepresentasikan kondisi aktual di lapangan. Dua indikator utama yang sering digunakan dalam validasi model adalah *Overall Kappa Accuracy* dan *Percentage of Correctness (% Correctness)*.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 6 Validasi Model

Kappa coefficient adalah metrik statistik yang sering digunakan untuk mengevaluasi akurasi model simulasi spasial, termasuk model berbasis *Cellular Automata* (CA) dalam pengindraan jauh. Rumus untuk *Overall Kappa Accuracy* adalah:

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Namun, dalam konteks plugin Mollusce di QGIS, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menghitung P_e (*observed agreement*) dan P_o (*expected agreement*):

1. *Observed Agreement P_o* :

$$P_o = \frac{\text{Jumlah piksel yang benar} - \text{benar terklasifikasi}}{\text{Jumlah Total piksel}}$$

Ini adalah perbandingan antara jumlah kesepakatan yang tercatat antara hasil klasifikasi dengan data referensi (*ground truth*) dibandingkan dengan jumlah total piksel yang diuji.

2. *Expected Agreement P_e* dihitung berdasarkan distribusi probabilitas setiap kelas dalam klasifikasi dan data referensi. Jika kita memiliki jumlah piksel untuk

masing-masing kategori dalam hasil klasifikasi dan kategori dalam data referensi, maka

$$P_e = \sum_{i=1}^k \left(\frac{N_{i,clas}}{N_{total}} \times \frac{N_{i,ref}}{N_{total}} \right)$$

Keterangan:

- $N_{i,clas}$: jumlah piksel yang terklasifikasi dalam kelas i,
- $N_{i,ref}$: jumlah piksel dalam kelas iii dari data referensi,
- N_{Total} : jumlah total piksel.

(Cohen, 1960)

Koefisien Kappa digunakan untuk membandingkan peta hasil simulasi dengan peta referensi (*ground truth*) guna mengukur kesesuaian spasial antara prediksi model dan kondisi aktual. Kappa mempertimbangkan baik kesesuaian yang dihasilkan oleh model maupun kesesuaian yang dapat terjadi secara acak, memberikan penilaian yang lebih objektif terhadap performa model (Hagen, 2003).

Tabel 1. 2 Kategori Nilai Koefisien Kappa

No	Nilai	Keterangan
1	<0,21	Buruk
2	0,21-0,40	Kurang
3	0,41-0,60	Sedang
4	0,61- 0,80	Baik
5	0,81-1,00	Sangat Baik

Sumber: Kubangun, 2016

Percentage of Correctness (% Correctness) adalah ukuran sederhana untuk mengevaluasi akurasi model dengan menghitung persentase prediksi yang benar terhadap total data yang diuji. Ini sering digunakan dalam analisis spasial dan pemodelan untuk memberikan gambaran langsung tentang seberapa baik model berhasil memprediksi data aktual.(Congalton & Green, 2009) Rumus dalam bentuk matematis adalah:

$$\%Correctness = \frac{\sum_{i=1}^n O_{ii}}{N} \times 100$$

Keterangan:

- $\sum_{i=1}^n O_{ii}$: Jumlah elemen diagonal pada matriks kesesuaian (confusion matrix), yang menunjukkan jumlah prediksi benar.
- N : Total observasi (total data yang diuji).

(Congalton & Green, 2009)

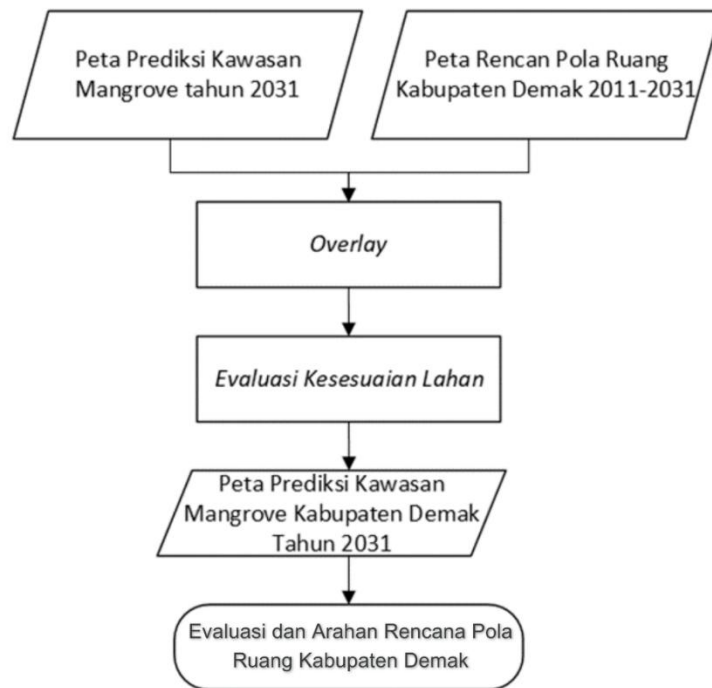
3. Evaluasi implikasi perubahan mangrove terhadap pola ruang RTRW Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.

Evaluasi pola ruang dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi perubahan kawasan mangrove dari model Cellular Automata dengan zonasi dalam RTRW Kabupaten Demak, dengan fokus khusus pada implikasi perubahan garis pantai dan luas daratan. Analisis menunjukkan bahwa degradasi ekosistem mangrove secara signifikan mempengaruhi dinamika spasial wilayah, mengakibatkan erosi pantai yang berkelanjutan dan pengurangan luas daratan. Implikasi kritis terhadap pola ruang RTRW meliputi pergeseran kawasan permukiman, Kawasan industri, dan kawasan lindung, yang mengancam keberadaan pemukiman dan fasilitas publik di wilayah pesisir. Prediksi model mengungkapkan bahwa tanpa intervensi signifikan, kawasan pesisir Demak berpotensi mengalami degradasi lahan, membutuhkan perencanaan menyeluruh terhadap rencana tata ruang untuk memitigasi risiko kehilangan lahan dan ancaman bencana pesisir. Penelitian ini didasarkan pada difokuskan pada garis pantai terluar menuju arah daratan, yang mencakup wilayah transisi antara laut dan ekosistem daratan (batas pantai ke daratan) yang dibatasi dengan batas administrasi sepanjang pesisir pantai di Kabupaten Demak.

4. Arahan Penataan Pola Ruang RTRW Kabupaten Demak 2011-2031

Arahan pola ruang yang dihasilkan bertujuan mengoptimalkan fungsi kawasan mangrove dalam mendukung keberlanjutan ekologis dan ekonomi wilayah pesisir Kabupaten Demak. Arahan disusun berdasarkan dinamika perubahan mangrove yang teridentifikasi, proyeksi masa depan, dan faktor-faktor pendorong perubahan. Arahan juga mempertimbangkan strategi adaptasi perubahan iklim dengan mengidentifikasi kawasan prioritas rehabilitasi mangrove untuk meningkatkan ketahanan pesisir. Rekomendasi meliputi penyesuaian peruntukan lahan dalam revisi RTRW, penguatan insentif dan disinsentif, dan pengintegrasian

pengelolaan berbasis ekosistem dalam perencanaan tata ruang kabupaten. Penelitian ini didasarkan pada difokuskan pada garis pantai terluar menuju arah daratan, yang mencakup wilayah transisi antara laut dan ekosistem daratan (batas pantai ke daratan) yang dibatasi dengan batas administrasi sepanjang pesisir pantai di Kabupaten Demak.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 1. 7 Evaluasi dan Arahkan Rencana Pola Ruang

1.6 Metode dan Hasil Akhir

1.6.1 Kebutuhan Data

Tabel 1. 3 Tabel Kebutuhan Data

Sasaran	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber Data	Tahun
Identifikasi kondisi kawasan mangrove di Kabupaten Demak berdasarkan data penginderaan jauh tahun 2003-2024.	Citra Satelit Skala Menengah	Sekunder	Raster	United States Geological Survey (USGS)	2003, 2010, 2017, 2024
	Citra Satelit Resolusi Tinggi	Sekunder	Raster	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2017

Sasaran	Nama Data	Jenis Data	Bentuk Data	Sumber Data	Tahun
	Batas Administasi	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
Memodelkan prediksi perubahan kawasan mangrove menggunakan metode Cellular Automata Tahun 2031.	Kemiringan Lereng	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
	Permukiman	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
	Jaringan Jalan	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
	Jaringan Sungai	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
	Garis Pantai	Sekunder	Shapefile	Badan Informasi Geospasial (BIG)	2024
Evaluasi dan Arahan penataan pola ruang Kabupaten Demak Tahun 2011-2031	Peta RTRW Kabupaten Demak	Sekunder	Shapefile	RTRW Kabupaten Demak	2011-2031

Sumber: Hasil Analisis, 2025

1.6.2 Metode Pengumpulan Data

a. Telaah Dokumen

Menganalisis dokumen adalah metode pengumpulan data dengan menganalisis berbagai dokumen yang relevan untuk memperoleh informasi terkait penelitian. Dokumen-dokumen tersebut dapat berupa dokumen resmi, laporan, catatan, peta, peraturan, atau sumber tertulis lainnya yang mendukung kajian. Metode ini bertujuan

untuk memahami konteks, menganalisis isi, dan mendapatkan data yang akurat tanpa perlu interaksi langsung dengan sumber data (Bowen, 2009).

b. Teknik Observasi

Teknik observasi merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan dengan mengamati secara langsung fenomena atau aktivitas yang menjadi objek penelitian. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan data empiris yang akurat dengan melihat dan mencatat perilaku atau kejadian di lapangan tanpa melalui perantara. Kegiatan pengamatan dapat dilaksanakan dengan dua pendekatan: secara partisipatif yang mengharuskan peneliti turut serta dalam aktivitas yang sedang diteliti, atau secara non-partisipatif di mana peneliti hanya mengamati tanpa keterlibatan langsung dalam kegiatan tersebut (Ishtiaq, 2019).

1.6.3 Metode Analisis

a. *Cellular Automata*

Teknik *Cellular Automata* (CA) dipilih sebagai metode pemodelan dalam penelitian ini. CA merupakan pendekatan yang mempermudah konstruksi model dari proses spasial kompleks, baik dalam konteks ilmu alam maupun kajian geografis (Sullivan, 2001). *Cellular Automata* adalah suatu konsep yang dapat menunjukkan perubahan atau pergerakan dari setiap elemen atau objek yang dikenal sebagai automaton (Yudarwati dkk., 2017). Secara sederhana, Automaton, yang merupakan bentuk tunggal dari automata, pada dasarnya adalah mekanisme pemrosesan diskrit. Mekanisme ini mengacu pada kemampuan objek untuk bertransformasi berdasarkan seperangkat aturan yang diterapkan pada dirinya sendiri serta berbagai input eksternal (Cahyadi dkk., 2017).

b. *Euclidean Distance*

Euclidean Distance adalah metode perhitungan jarak antara dua titik dalam ruang Euclidean. Teknik ini dapat diaplikasikan untuk mengukur jarak dari lokasi awal ke lokasi tujuan dan membandingkan hasil pengukuran dari berbagai lokasi. Dengan demikian, algoritma ini mampu menyediakan informasi mengenai lokasi-lokasi yang berada di sekitar suatu titik referensi (Harahap, 2023). *Euclidean Distance* berfungsi untuk:

- a. Menghitung jarak terdekat dari suatu titik ke objek faktor pendorong tersebut
- b. Menghasilkan raster yang menunjukkan seberapa jauh jarak setiap piksel dari fitur-fitur yang dianalisis
- c. Memberikan informasi tentang aksesibilitas dan kedekatan suatu area dengan infrastruktur atau fitur geografis yang ada

Hasil dari analisis *Euclidean Distance* ini kemudian digunakan sebagai input untuk proses *Cellular Automata*, yang akan membantu dalam memprediksi perubahan kawasan mangrove di Kabupaten Demak. Semakin dekat suatu area dengan faktor-faktor pendorong tersebut, semakin besar kemungkinan terjadinya perubahan penggunaan lahan di area tersebut.

c. *Overlay*

Metode *overlay* adalah metode untuk membuat sistem informasi dalam bentuk grafis yang terdiri dari penggabungan berbagai peta yang masing-masing memiliki informasi dan database tertentu. *Overlay* peta harus minimal terdiri dari dua jenis peta yang berbeda, dan secara teknis dianggap sebagai polygon yang terdiri dari dua jenis peta yang dioverlaykan. (Rachmah dkk., 2018). *Overlay* atau menumpang-tindihkan parameter-parameter untuk didapatkan output berupa data spasial kesesuaian Kawasan mangrove dengan membandingkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW).

- d. Evaluasi implikasi perubahan mangrove terhadap pola ruang RTRW Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.

Evaluasi rencana pola ruang yang membandingkan RTRW Kabupaten Demak dengan prediksi perubahan kawasan mangrove menghasilkan implikasi utama yang meliputi pergeseran kawasan permukiman, kawasan industri, dan kawasan lindung, yang mengancam keberadaan pemukiman dan fasilitas publik di wilayah pesisir. Perubahan ekosistem mangrove secara signifikan mempengaruhi struktur tata ruang wilayah, mengakibatkan pergeseran zona strategis yang semula direncanakan, sehingga menimbulkan risiko langsung terhadap infrastruktur dan kehidupan masyarakat pesisir.

1.6.3 Hasil Akhir

Hasil Akhir dari tugas akhir ini berupa evaluasi dan arahan rencana pola ruang Kabupaten Demak Tahun 2011-2031.