

BAB 4

ANALISIS PREDIKSI PERUBAHAN KAWASAN MANGROVE DENGAN METODE *CELLULAR AUTOMATA*

4.1 Analisis Perubahan Kawasan Mangrove Kabupaten Demak Tahun 2003-2031

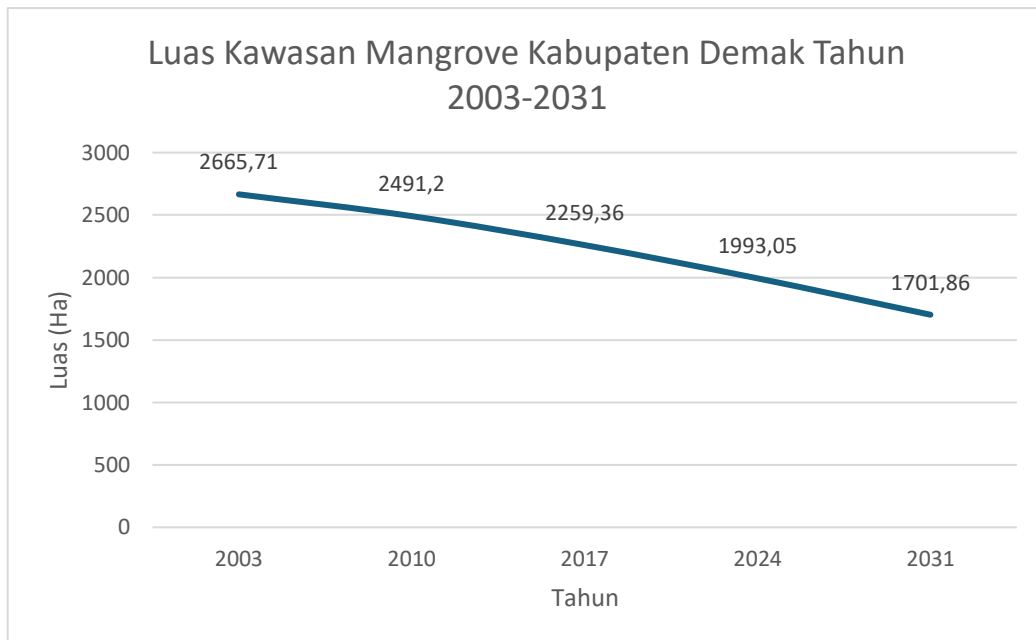
Perubahan kawasan mangrove di Kabupaten Demak selama rentang waktu 28 tahun, mulai dari tahun 2003 hingga proyeksi tahun 2031. Penelitian ini menggabungkan data dari lima periode pengamatan untuk mengidentifikasi pola dan tren perubahan yang terjadi di kawasan mangrove. Analisis multitemporal ini sangat penting karena memberikan gambaran yang komprehensif tentang dinamika kawasan mangrove dalam jangka panjang.

Tabel 4. 1 Tabel Perubahan Luas Kawasan Mangrove Kabupaten Demak

Tahun	Luas Kawasan Mangrove
2003	2665,71 Ha
2010	2491,2 Ha
2017	2259,36 Ha
2024	1993,05 Ha
2031	1701,86 Ha

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Data luas kawasan mangrove Kabupaten Demak dari lima periode pengamatan, menunjukkan penurunan konsisten dari 2665,71 hektar pada tahun 2003 menjadi 2491,20 hektar pada tahun 2010, kemudian 2259,36 hektar pada tahun 2017, 1993,05 hektar pada tahun 2024, dan diproyeksikan mencapai 1701,86 hektar pada tahun 2031. Data ini mengindikasikan pengurangan signifikan sebesar 963,85 hektar atau 36,16% selama rentang waktu 28 tahun. Penurunan terjadi dengan laju bervariasi antar periode, dengan rata-rata pengurangan sebesar 24,93 hektar per tahun pada periode 2003-2010, meningkat menjadi 33,12 hektar per tahun pada periode 2010-2017, lalu 38,04 hektar per tahun pada periode 2017-2024, dan diproyeksikan mencapai 41,60 hektar per tahun pada periode 2024-2031. Pola ini menunjukkan adanya akselerasi laju degradasi kawasan mangrove seiring berjalannya waktu.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 1 Luas Kawasan Mangrove Kabupaten Demak

Grafik di atas menunjukkan penurunan luas kawasan mangrove Kabupaten Demak dari tahun 2003 sampai proyeksi tahun 2031. Kurva menurun terus menerus dan semakin tajam pada tahun-tahun belakangan, menandakan laju pengurangan mangrove yang semakin cepat. Selama periode pengamatan, tidak terlihat adanya masa pemulihan atau kenaikan luas mangrove, yang menunjukkan bahwa tekanan terhadap mangrove terus berlangsung. Visualisasi ini mendukung data dalam tabel dan memperlihatkan dengan jelas bagaimana degradasi mangrove terjadi selama jangka panjang. Jika kondisi ini berlanjut tanpa ada perubahan, kawasan mangrove Kabupaten Demak akan terancam habis dalam beberapa dekade ke depan. Hal ini akan berdampak buruk pada lingkungan pesisir dan kehidupan masyarakat yang bergantung pada ekosistem mangrove.

4.2 Validasi Lapangan

Validasi Lapangan dilakukan untuk menilai sejauh mana hasil klasifikasi tutupan lahan yang diperoleh dari metode *Cellular Automata* sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Uji ini menggunakan *confusion matrix*, yang membandingkan hasil klasifikasi dengan data validasi. Kategori tutupan lahan yang diuji meliputi mangrove, tambak, permukiman, lahan pertanian, laut, dan industry

4.2.1 Penentuan Jumlah Sampel Uji Akurasi

Penentuan jumlah sampel uji akurasi dilakukan dengan mengikuti ketentuan yang tercantum dalam 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, sebagaimana dijabarkan berikut ini:

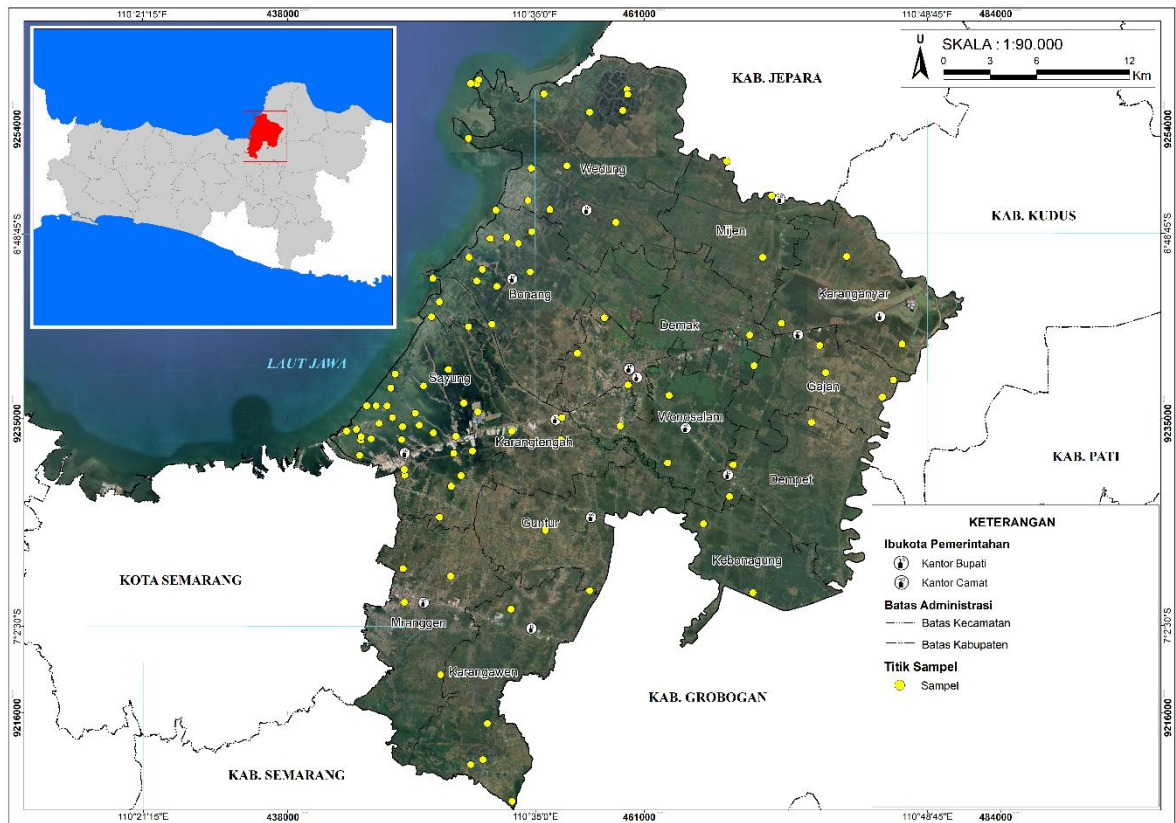
$$A = TSM + \frac{\text{Luas (Ha)}}{1500}$$

$$A = 30 + \frac{99600}{1500}$$

$$A = 96,4 = 96$$

Hasil perhitungan diperoleh bahwa jumlah sampel yang dibutuhkan untuk menguji akurasi interpretasi tutupan lahan Kabupaten Demak adalah 96 titik sampel. Metode *Stratified Random Sampling* digunakan untuk memastikan bahwa sampel uji akurasi tersebar secara proporsional di seluruh area penelitian. Metode ini memungkinkan setiap kelas dalam peta memiliki representasi yang cukup dalam proses validasi, terutama untuk kelas yang jarang ditemukan. *Stratified* dilakukan berdasarkan kelas tutupan lahan, sehingga setiap kelas memperoleh jumlah sampel yang sesuai dengan luas dan proporsinya dalam peta. Tingkat kesalahan standar dapat dikurangi, terutama untuk kelas yang memiliki representasi kecil dalam data referensi (Olofsson et al., 2014).

Persebaran titik sampel didistribusikan secara proporsional ke dalam setiap kelas menggunakan metode stratifikasi berbasis luas wilayah masing-masing kelas. Penyebaran titik sampel kemudian dipetakan untuk memastikan distribusi spasial yang merata dan representatif. Peta Distribusi Sampel Uji Akurasi berikut menunjukkan lokasi titik sampel yang telah ditentukan berdasarkan metode *Stratified Random Sampling*:



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 2 Peta Distribusi Sampel Uji Akurasi

4.2.2 Uji Akurasi Interpretasi Tutupan Lahan Kabupaten Demak Tahun 2024

Evaluasi akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan di Kabupaten Demak, dilakukan uji akurasi dengan menggunakan *confusion matrix*. Matriks ini membandingkan hasil klasifikasi model dengan data referensi yang telah dikumpulkan melalui pengambilan sampel.

Hasil dari uji akurasi ditampilkan dalam tabel berikut, yang menunjukkan jumlah sampel yang diklasifikasikan dengan benar (nilai diagonal) serta jumlah sampel yang mengalami kesalahan klasifikasi (nilai di luar diagonal). Tabel ini juga menyajikan nilai *User Accuracy* dan *Producer Accuracy* untuk setiap kelas tutupan lahan yang dianalisis. Tabel berikut menyajikan hasil uji akurasi interpretasi tutupan lahan di Kabupaten Demak Tahun 2024 :

Tabel 4. 2 Confusion Matrix Interpretasi Tahun 2024

Tutupan Lahan	Validasi							User accuracy
	Mangrove	Tambak	Permukiman	Lahan Pertanian	Laut	Industri	Total	
Mangrove	13	1	2	0	0	0	16	82%
Tambak	0	16	0	0	0	0	16	100%
Permukiman	0	0	15	1	0	0	16	94%
Lahan Pertanian	0	1	0	16	0	0	16	100%
Laut	0	0	0	0	16	0	16	100%
Industri	0	0	2	2	0	12	16	75%
Total	14	17	19	18	16	12	96	
Producer Accuracy	100%	94%	79%	83%	100%	100%		

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel yang disajikan menunjukkan jumlah sampel berdasarkan kategori tutupan lahan yang diklasifikasikan dibandingkan dengan hasil validasi lapangan. Angka diagonal dalam tabel menunjukkan jumlah sampel yang diklasifikasikan dengan benar, sedangkan angka di luar diagonal menunjukkan sampel yang salah klasifikasi.

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Jumlah sampel benar}}{\text{Total Sampel}} \times 100 \%$$

$$= \frac{88}{96} \times 100 \% = 92 \%$$

$$\text{Kappa Coeficient} = \frac{(\text{Sampel benar} \times \text{Sampel total}) - (\sum \text{barisi} \times \sum \text{kolomi})}{(\text{Sampel total})^2 - (\sum \text{barisi} \times \sum \text{kolomi})} \times 100 \%$$

$$= \frac{(88 \times 96) - ((14 \times 16) + (16 \times 16) + (15 \times 16) + (15 \times 16) + (16 \times 116) + (12 \times 16))}{(96)^2 - ((14 \times 16) + (16 \times 16) + (15 \times 16) + (15 \times 16) + (16 \times 116) + (12 \times 16))} \times 100 \%$$

$$= \frac{7040}{7808} \times 100 \% = 90 \%$$

Menilai keakuratan klasifikasi, digunakan beberapa metrik, salah satunya adalah *Overall Accuracy* yang mengukur persentase total sampel yang diklasifikasikan dengan benar terhadap total sampel yang diuji. Dari tabel, jumlah sampel yang benar adalah 88 dari total 96 sampel, sehingga diperoleh tingkat **Overall Accuracy sebesar 92%**, yang menunjukkan hasil klasifikasi **sangat baik**. Selain itu, digunakan pula Koefisien Kappa untuk mengukur sejauh mana klasifikasi yang dilakukan lebih baik dibandingkan dengan

hasil klasifikasi acak. Hasil perhitungan menunjukkan **nilai Kappa sebesar 90%**, yang menandakan bahwa klasifikasi memiliki tingkat keandalan yang **sangat baik**.

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa metode klasifikasi yang digunakan memiliki akurasi yang tinggi dalam menginterpretasi tutupan lahan. Secara keseluruhan, klasifikasi berhasil mengidentifikasi kategori laut, lahan pertanian, dan tambak dengan akurasi 100%, sedangkan kategori industri memiliki tingkat akurasi pengguna paling rendah, yaitu 75%. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan cukup andal dalam memprediksi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Demak.

4.2.3 Uji Akurasi Interpretasi Tutupan Lahan Kabupaten Demak Tahun 2017

Evaluasi akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan di Kabupaten Demak tahun 2017 dilakukan dengan metode yang sama seperti pada tahun 2024, yaitu menggunakan matriks confusion matrix. Matriks ini membandingkan hasil klasifikasi model dengan data referensi yang telah dikumpulkan melalui citra satelit resolusi tinggi.

Hasil dari uji akurasi tutupan lahan tahun 2017 ditampilkan dalam tabel berikut, yang menunjukkan jumlah sampel yang diklasifikasikan dengan benar (nilai diagonal) serta jumlah sampel yang mengalami kesalahan klasifikasi (nilai di luar diagonal). Tabel ini juga menyajikan nilai *User Accuracy* dan *Producer Accuracy* untuk setiap kelas tutupan lahan yang dianalisis.

Tabel 4. 3 *Confusion Matrix* Interpretasi Tahun 2017

Tutupan Lahan	Validasi							<i>User accuracy</i>
	Mangrove	Tambak	Permukiman	Lahan Pertanian	Laut	Industri	Total	
Mangrove	15	0	0	1	0	0	16	94%
Tambak	0	16	0	0	0	0	16	100%
Permukiman	0	1	15	0	0	0	16	94%
Lahan Pertanian	0	0	0	16	0	0	16	100%
Laut	0	0	0	0	16	0	16	100%
Industri	0	0	0	5	0	11	16	69%
Total	15	17	15	22	16	11	96	
<i>Producer Accuracy</i>	100%	94%	100%	73%	100%	100%		

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel yang disajikan menunjukkan jumlah sampel berdasarkan kategori tutupan lahan yang diklasifikasikan dibandingkan dengan hasil validasi lapangan. Angka diagonal

dalam tabel menunjukkan jumlah sampel yang diklasifikasikan dengan benar, sedangkan angka di luar diagonal menunjukkan sampel yang salah klasifikasi.

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Jumlah sampel benar}}{\text{Total Sampel}} \times 100 \%$$

$$= \frac{89}{96} \times 100 \% = 93 \%$$

$$\text{Kappa Coeficient} = \frac{(\text{Sampel benar} \times \text{Sampel total}) - (\sum \text{barisi} \times \sum \text{kolomi})}{(\text{Sampel total})^2 - (\sum \text{barisi} \times \sum \text{kolomi})} \times 100 \%$$

$$= \frac{(88 \times 96) - ((15 \times 16) + (16 \times 16) + (15 \times 16) + (16 \times 16) + (16 \times 116) + (11 \times 16))}{(96)^2 - ((15 \times 16) + (16 \times 16) + (15 \times 16) + (16 \times 16) + (16 \times 116) + (11 \times 16))} \times 100$$

$$= \frac{7120}{7792} \times 100 \% = 91 \%$$

Penilaian keakuratan klasifikasi tahun 2017, menggunakann beberapa metrik, salah satunya adalah *Overall Accuracy* yang mengukur persentase total sampel yang diklasifikasikan dengan benar terhadap total sampel yang diuji. Dari tabel, jumlah sampel yang benar adalah 89 dari total 96 sampel, sehingga diperoleh **tingkat Overall Accuracy sebesar 93%, yang menunjukkan hasil klasifikasi sangat baik**. Selain itu, digunakan pula Koefisien Kappa untuk mengukur sejauh mana klasifikasi yang dilakukan lebih baik dibandingkan dengan hasil klasifikasi acak. Hasil perhitungan menunjukkan **nilai Kappa sebesar 91%, yang menandakan bahwa klasifikasi memiliki tingkat keandalan yang sangat baik**.

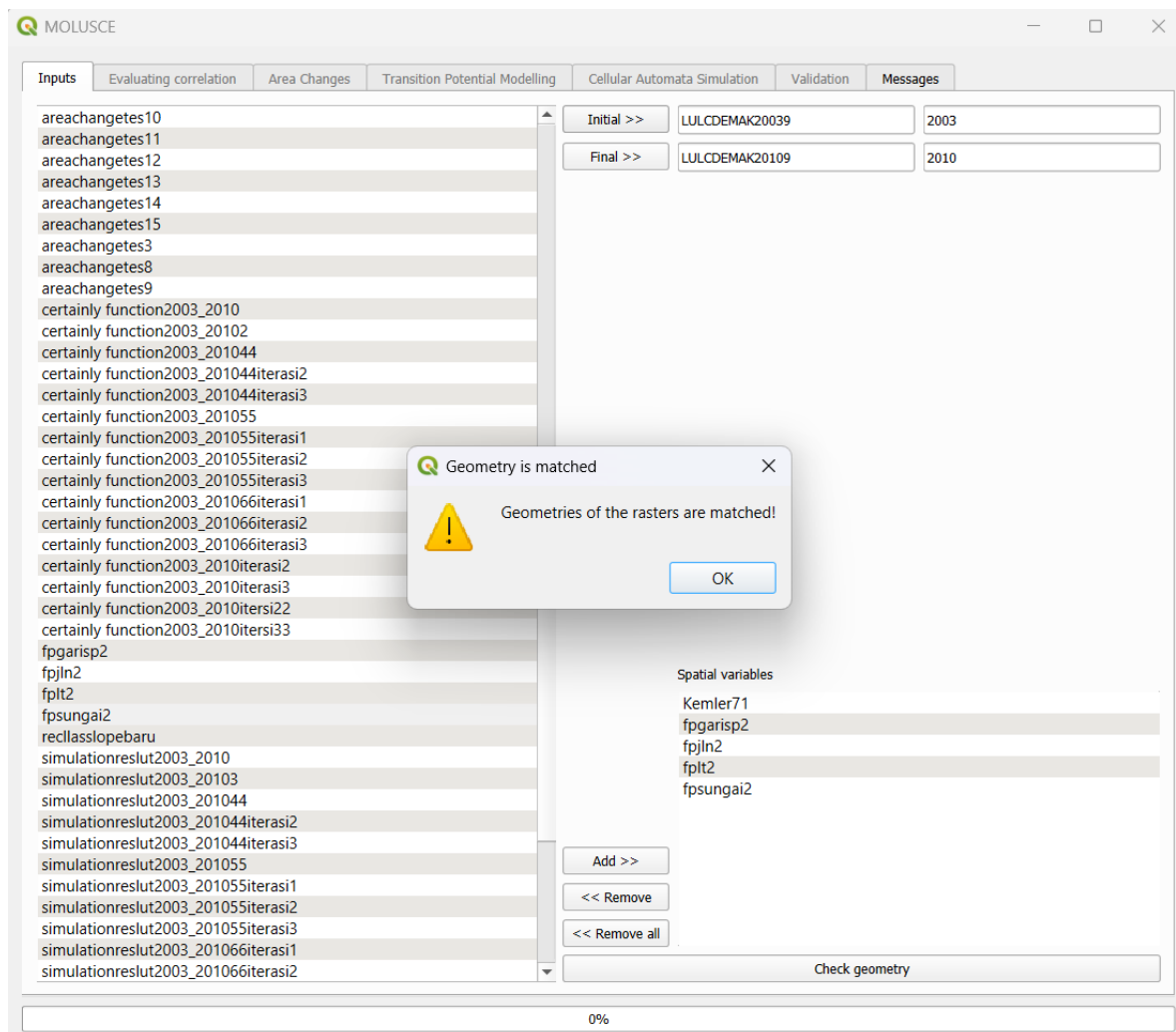
Berdasarkan hasil perhitungan, dapat disimpulkan bahwa metode klasifikasi yang digunakan pada tahun 2017 memiliki akurasi yang tinggi dalam menginterpretasi tutupan lahan di Kabupaten Demak. Secara keseluruhan, klasifikasi berhasil mengidentifikasi kategori mangrove, tambak, permukiman, laut, dan lahan pertanian dengan akurasi yang tinggi, masing-masing dengan tingkat akurasi pengguna 94%, 100%, 94%, 100%, dan 100%. Kategori industri memiliki tingkat akurasi pengguna paling rendah, yaitu 69%.

Producer accuracy, kategori mangrove, permukiman, laut, dan industri menunjukkan akurasi 100%, sedangkan kategori tambak mencapai 94%. Kategori lahan pertanian memiliki *producer accuracy* terendah yaitu 73%, yang menunjukkan adanya kesalahan klasifikasi dimana 5 sampel lahan pertanian teramati sebagai kawasan industri. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan cukup andal dalam menginterpretasi tutupan lahan di Kabupaten Demak pada tahun 2017, dengan tingkat akurasi keseluruhan yang sangat baik yaitu 93%.

4.3 Model Prediksi Perubahan Kawasan Mangrove Kabupaten Demak Tahun 2031

4.3.1 Input Model

Pada tahap ini, dilakukan pemodelan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan tutupan lahan di Kabupaten Demak. Model ini dibuat berdasarkan variabel fisik dan sosial yang berkontribusi dalam dinamika penggunaan lahan, seperti kemiringan lereng, garis pantai, jaringan jalan, jarak lahan terbangun, serta jarak sungai. Dengan adanya model ini, dapat dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hubungan antara faktor-faktor tersebut dan perubahan tutupan lahan yang terjadi.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4.3 Input Model

4.3.2 Evaluating Correlation

Hubungan antara faktor pendorong perubahan lahan, dilakukan analisis korelasi antara berbagai variabel, seperti kemiringan lereng, garis pantai, jaringan jalan, lahan

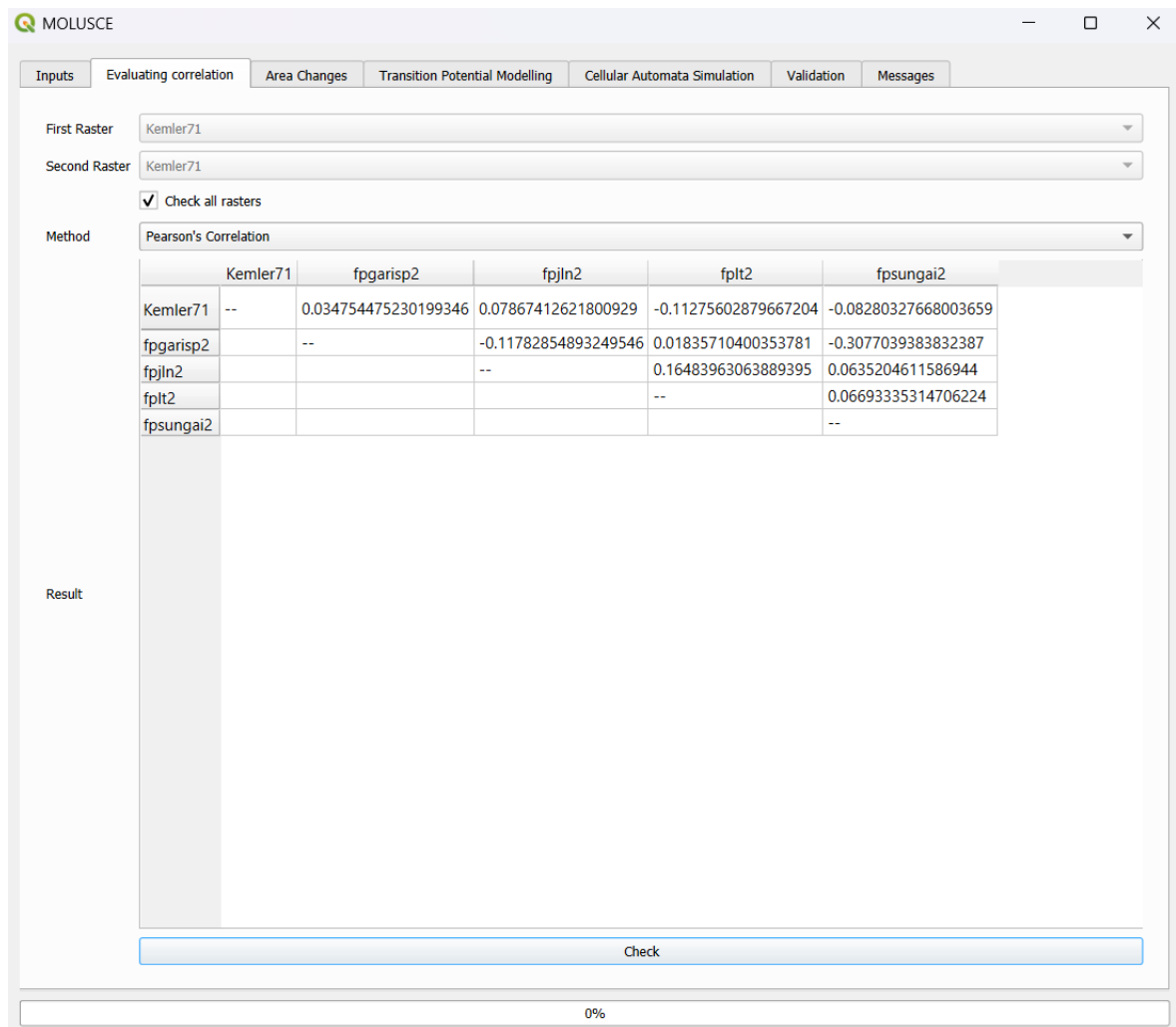
terbangun, dan sungai. Tabel berikut menyajikan hasil korelasi antara faktor-faktor tersebut :

Tabel 4. 4 *Evaluating Correlation*

Faktor Pendorong	Kemiringan Lereng	Garis Pantai	Jaringan Jalan	Lahan Terbangun	Sungai
Kemiringan Lereng	1	0.035	0.0078	-0.112	-0.08
Garis Pantai		1	-0.12	0.018	-0.31
Jaringan Jalan			1	0.16	0.06
Lahan Terbangun				1	0.067
Sungai					1

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Dari tabel korelasi, terlihat bahwa beberapa faktor memiliki hubungan yang lebih kuat dibandingkan lainnya. Misalnya, lahan terbangun memiliki korelasi positif dengan jaringan jalan, menunjukkan bahwa perkembangan infrastruktur jalan berkontribusi terhadap ekspansi kawasan permukiman dan industri. Sementara itu, garis pantai memiliki korelasi negatif dengan lahan terbangun, yang mengindikasikan bahwa daerah pesisir cenderung tidak mengalami urbanisasi yang signifikan. Informasi ini berguna dalam memahami pola perkembangan wilayah dan pengaruhnya terhadap lingkungan.

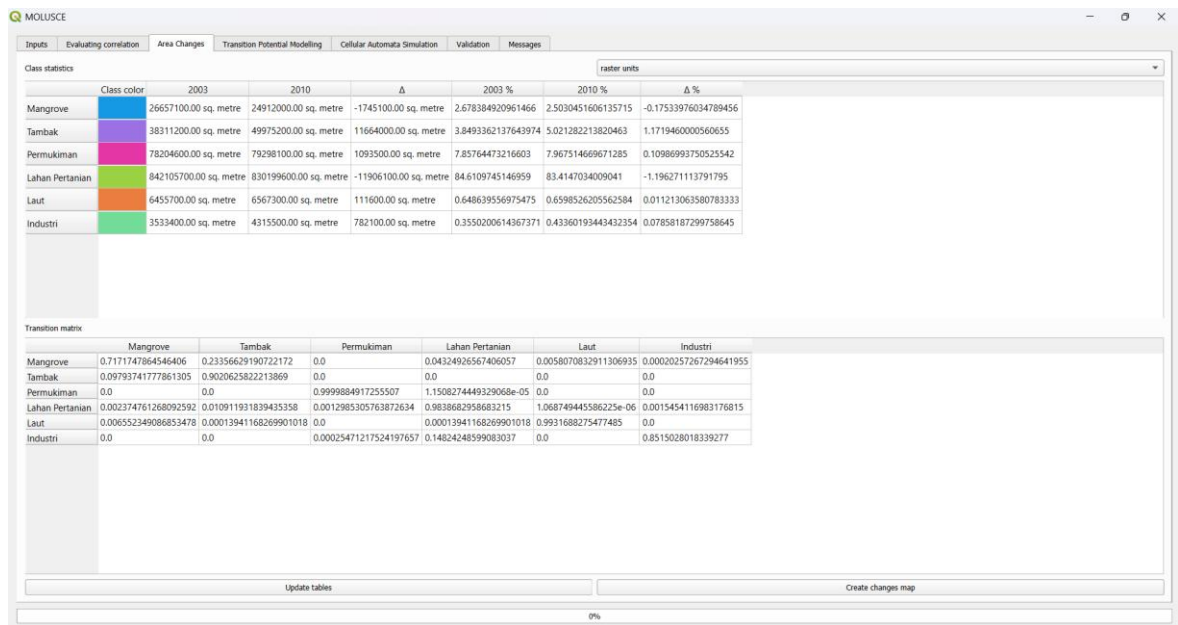


Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 4 Evaluating Correlation

4.3.3 Area Changes

Area Changes dalam *MOLUSCE* adalah modul atau fungsi yang digunakan untuk menganalisis dan menghitung perubahan tutupan lahan antara dua periode waktu berbeda. Modul ini menghasilkan matriks transisi yang menunjukkan bagaimana setiap kelas tutupan lahan berubah dari waktu awal ke waktu akhir.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 5 Area Changes

Tabel berikut menampilkan perubahan luas tutupan lahan antara tahun 2003 dan 2010. Data ini menggambarkan seberapa besar peningkatan atau penurunan luas masing-masing jenis tutupan lahan dalam kurun waktu tersebut.

Tabel 4. 5 Perubahan luas tutupan lahan antara tahun 2003 dan 2010

Tutupan Lahan	2003 (Ha)	2010 (Ha)	Perubahan	% Perubahan
Mangrove	2665,71	2491,20	-174,51	0,18
Tambak	3831,12	4997,52	1166,40	1,17
Permukiman	7820,46	7928,81	109,35	0,11
Lahan Pertanian	84210,57	83019,96	-1190,61	-1,20
Laut	645,57	656,73	11,16	0,01
Industri	353,34	431,55	78,21	0,07

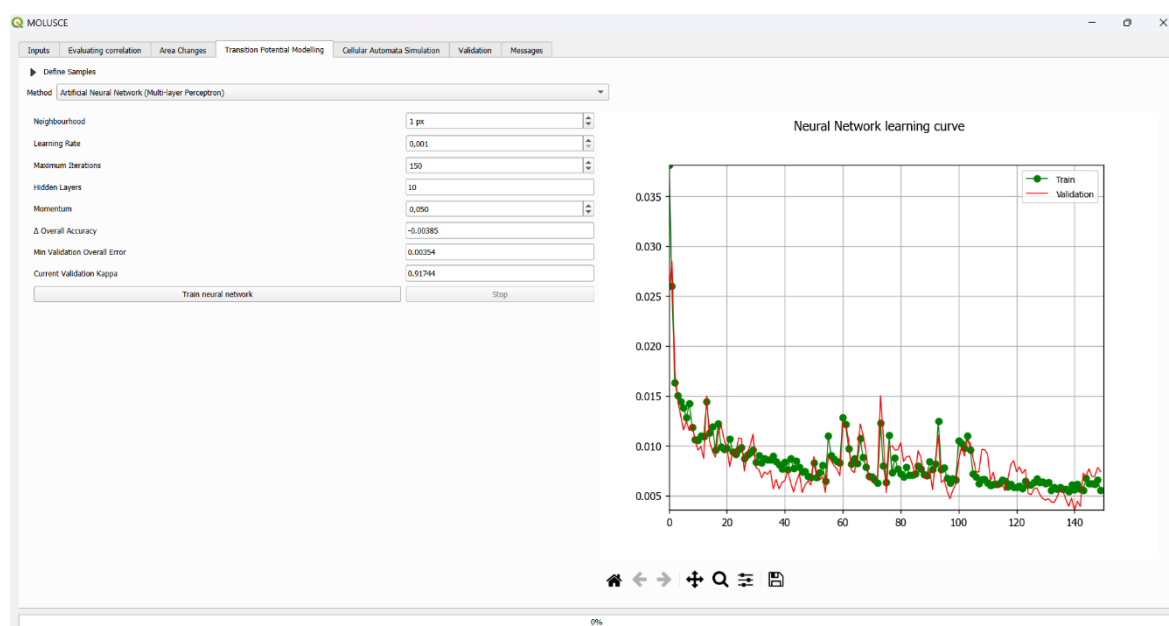
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan tabel, terlihat bahwa lahan pertanian mengalami penurunan terbesar, yaitu -11.190,61 Ha, yang kemungkinan besar dikonversi menjadi lahan permukiman, tambak, atau infrastruktur lainnya. Sementara itu, luas tambak meningkat sebesar 1.166,40 Ha, mencerminkan ekspansi sektor perikanan di wilayah tersebut. Mangrove mengalami

penurunan sebesar -174,51 Ha, yang mengindikasikan adanya degradasi ekosistem pesisir, kemungkinan akibat konversi menjadi tambak atau permukiman.

4.3.4 Transition Potential Modeling (Artificial Neural Network)

Transition Potential Modeling dilakukan untuk menganalisis kemungkinan perubahan tutupan lahan di masa mendatang. Model ini menggunakan berbagai parameter seperti ukuran lingkungan (*neighbourhood*), tingkat pembelajaran (*learning rate*), jumlah iterasi maksimum, jumlah lapisan tersembunyi (*hidden layers*), serta momentum. Nilai-nilai ini berperan dalam menentukan akurasi dan efektivitas prediksi perubahan lahan.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 6 Transition Potential Modeling

Grafik 4.6 menampilkan kurva pembelajaran Jaringan Saraf (*Neural Network*) dari plugin Mollusce di QGIS, dengan dua garis utama, yaitu garis hijau yang merepresentasikan kurva pelatihan (*Train*) dan garis merah yang menunjukkan kurva validasi (*Validation*). Pada fase awal pembelajaran, terjadi penurunan tajam pada nilai kesalahan (*loss*) untuk kedua kurva dalam 20-40 iterasi pertama, menandakan bahwa model dengan cepat menyerap pola data pada tahap awal. Setelah fase ini, kedua kurva mulai stabil dengan beberapa fluktuasi kecil, menunjukkan bahwa model terus menyesuaikan bobotnya tanpa perubahan drastis dalam *loss*. Sumbu-y pada grafik menunjukkan nilai kesalahan yang awalnya berada di sekitar 0,03 dan perlahan menurun hingga berkisar antara 0,005 hingga 0,01, sementara sumbu-x menunjukkan jumlah iterasi yang mencapai sekitar 140.

Tabel 4. 6 Transition Potential Modeling

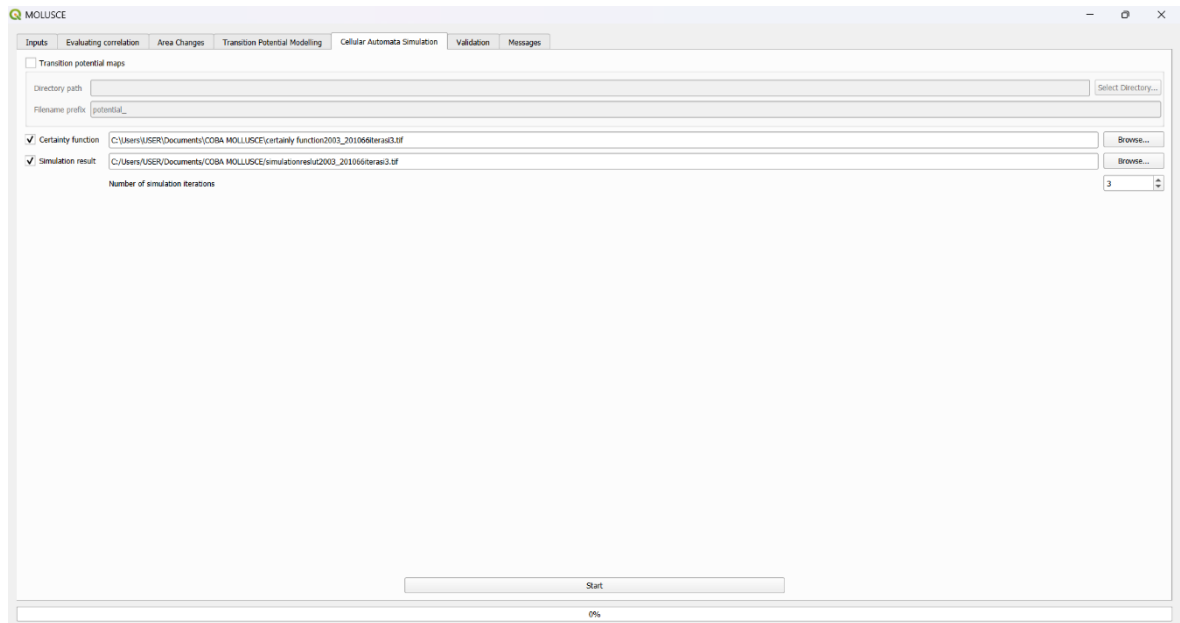
<i>Neighbourhood</i>	1 px
<i>Learning Rate</i>	0,001
<i>Maximum Iterations</i>	150
<i>Hidden Layers</i>	10
<i>Momentum</i>	0,050
<i>Overall Acuracy</i>	-0.00385
<i>Min Validation Overall Error</i>	0.00354
<i>Current validation Kappa</i>	0.91744

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan ini dirangkum dalam Tabel 4.10 *Transition Potential Modeling*, dimana ditampilkan nilai-nilai yang diterapkan yaitu Neighborhood dengan nilai 1 px, *Learning Rate* sebesar 0,001, *Maximum Iterations* sebanyak 150, *Hidden Layers* berjumlah 10, dan Momentum sebesar 0,050, dengan *Overall Accuracy* sebesar -0,00385. Data diperoleh *Min Validation Overall Error* sebesar 0,00354 dan *Current validation Kappa* sebesar 0,91744. Nilai Kappa yang tinggi (mendekati 1) mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik dengan data observasi. Hal ini berarti model *Artificial Neural Network* yang dikonfigurasi dengan parameter-parameter tersebut mampu memprediksi transisi tutupan lahan di Kabupaten Demak dengan akurasi yang tinggi. Dengan demikian, hasil pemodelan ini dapat dimanfaatkan untuk memahami pola perubahan lahan dan membantu dalam perencanaan tata ruang serta pengelolaan lingkungan di wilayah tersebut.

4.3.5 Cellular Automata Simulation

Cellular Automata Simulation digunakan untuk memprediksi dinamika perubahan tutupan lahan dengan mempertimbangkan faktor spasial dan temporal. Faktor spasial berkaitan dengan pengaruh lokasi dan kedekatan geografis, sementara faktor temporal berhubungan dengan pola perubahan dari waktu ke waktu. Pendekatan ini memungkinkan pemodelan yang lebih realistis karena memperhitungkan konteks lingkungan sekitar dari setiap sel atau piksel dalam data raster.

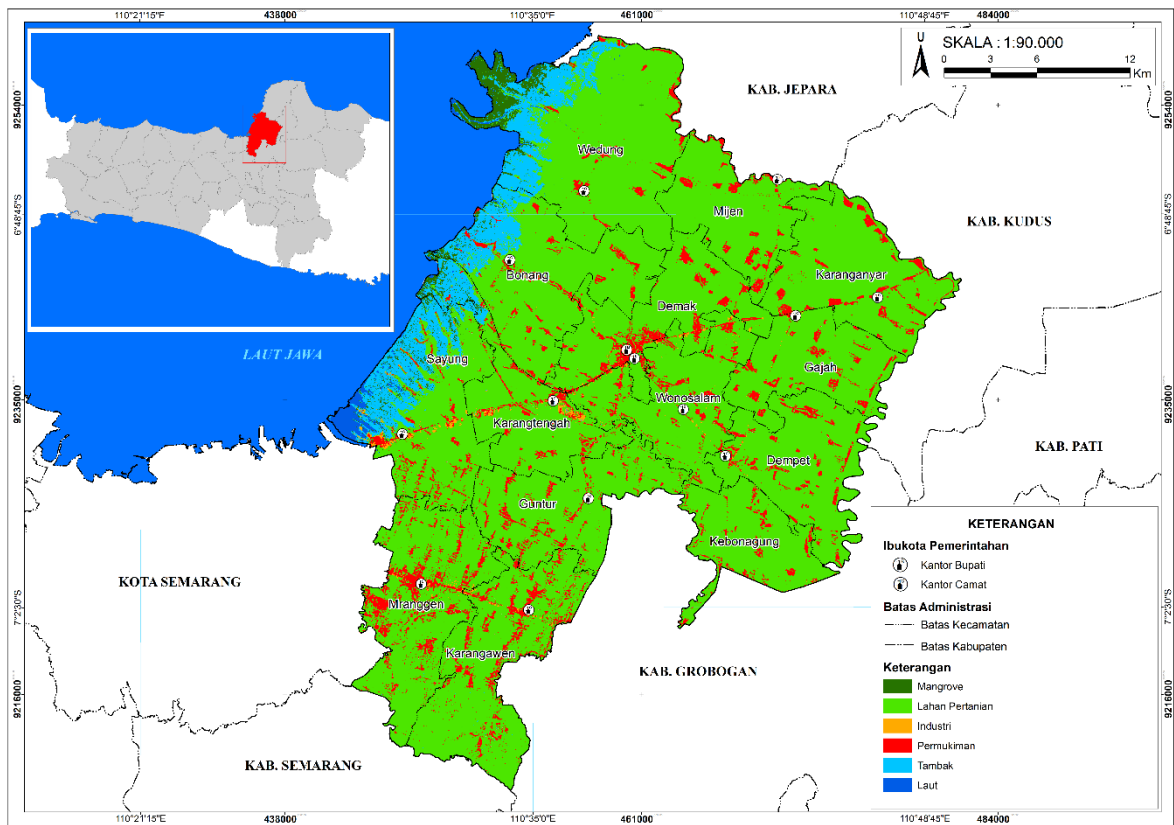


Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 7 Cellular Automata Simulation

Cellular Automata Simulation dengan berbagai parameter yang dapat dikonfigurasi untuk menjalankan simulasi. Pada bagian ini terlihat beberapa opsi pengaturan simulasi yang perlu diinput oleh pengguna sebelum menjalankan proses simulasi. Hasil dari proses simulasi ini adalah peta yang memperlihatkan perubahan distribusi lahan berdasarkan model yang telah dibuat sebelumnya. Peta hasil simulasi memberikan gambaran tentang bagaimana tutupan lahan di Kabupaten Demak kemungkinan akan berubah di masa mendatang sesuai dengan pola dan faktor-faktor yang telah diidentifikasi dalam tahapan modeling sebelumnya. Simulasi ini menjadi alat yang berharga bagi perencana dan pengambil kebijakan untuk

mengantisipasi perubahan penggunaan lahan dan menyusun strategi pengelolaan lingkungan yang lebih adaptif dan berkelanjutan.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 8 Peta Prediksi Tutupan Lahan Kabupaten Demak 2031

Dari hasil simulasi, terlihat adanya perubahan signifikan pada beberapa jenis tutupan lahan, terutama di daerah pesisir dan wilayah permukiman. Kawasan hijau yang merepresentasikan lahan pertanian masih mendominasi, tetapi terlihat adanya ekspansi wilayah terbangun yang ditunjukkan oleh area berwarna merah. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan permukiman dan industri terus berkembang, sementara lahan alami seperti mangrove dan pertanian mengalami tekanan akibat aktivitas manusia.

Tabel 4. 7 Luas Prediksi Tutupan Lahan KabupTen Demak Tahun 2031

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)
1	Mangrove	1701,86
2	Tambak	6204,077
3	Permukiman	7713,83

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)
4	Lahan Pertanian	82946,35
5	Laut	639,86
6	Industri	388,18

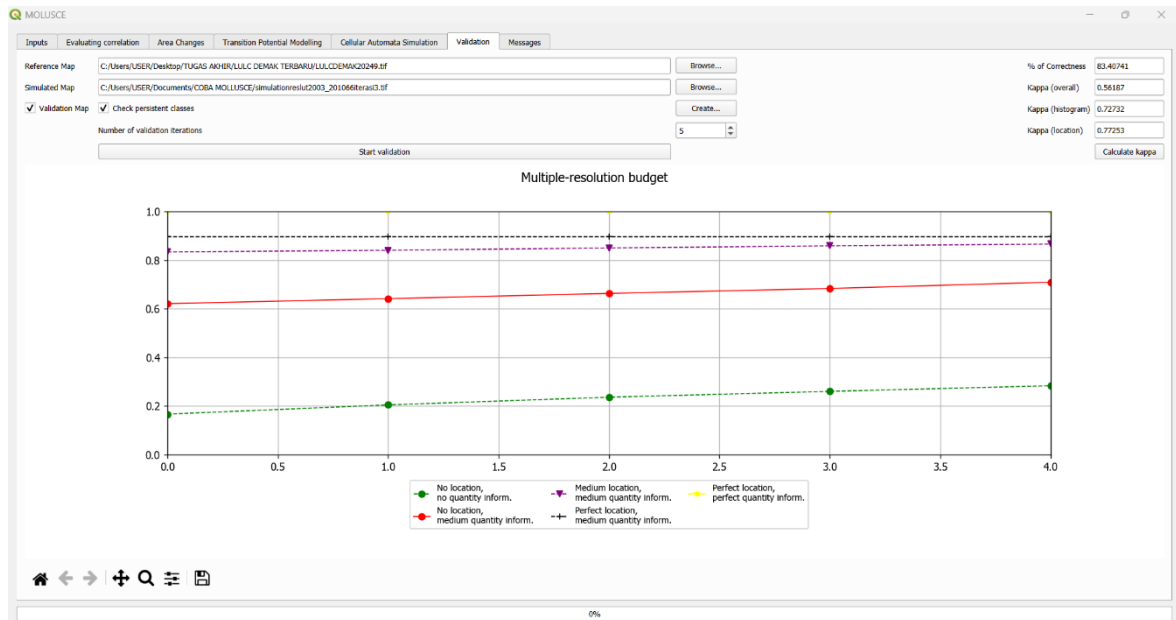
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan tabel luasan tutupan lahan, kawasan mangrove mengalami penurunan yang cukup signifikan dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Luas mangrove yang tercatat sebesar 1.701,86 hektar menunjukkan adanya pengurangan yang kemungkinan besar disebabkan oleh konversi lahan untuk penggunaan lain, seperti tambak, permukiman, dan industri.

Penurunan ini mencerminkan adanya tekanan terhadap ekosistem mangrove akibat aktivitas manusia. Konversi lahan mangrove menjadi tambak merupakan faktor utama yang menyebabkan degradasi ekosistem pesisir. Selain itu, peningkatan luas permukiman dan industri juga berkontribusi terhadap hilangnya kawasan mangrove. Jika kondisi ini terus berlanjut tanpa adanya upaya rehabilitasi dan konservasi yang serius, maka dampak ekologisnya bisa sangat besar, termasuk meningkatnya risiko abrasi, berkurangnya habitat biota pesisir, dan hilangnya fungsi penyerap karbon dari ekosistem mangrove. Oleh karena itu, perlu adanya kebijakan perlindungan serta program rehabilitasi untuk menjaga keberlanjutan ekosistem mangrove di wilayah pesisir.

4.3.6 Validation Model

Validation model dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi dan kesesuaian hasil simulasi terhadap data aktual. Metode yang digunakan dalam validasi ini adalah *Artificial Neural Network (ANN)*, yang mampu memprediksi perubahan tutupan lahan berdasarkan pola historisnya. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi objektif terhadap kemampuan model dalam mensimulasikan perubahan tutupan lahan.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 9 Validation Model

Multiple-resolution budget yang memperlihatkan beberapa garis berwarna berbeda yang berjalan melintasi grafik dari kiri ke kanan. Setiap garis berwarna merepresentasikan metrik validasi yang berbeda, dengan warna ungu di bagian atas, merah di tengah, dan hijau di bagian bawah. Grafik ini menunjukkan bagaimana performa model bervariasi seiring dengan perubahan resolusi spasial yang dianalisis (ditunjukkan pada sumbu x). Garis ungu yang berada di posisi teratas kemungkinan merepresentasikan *Perfect Classification Success*, yang menjadi referensi ideal untuk perbandingan. Garis merah di tengah mungkin menunjukkan nilai *Proportion Correct* (akurasi keseluruhan) model, sementara garis hijau di bagian bawah kemungkinan menunjukkan nilai *No Information Rate* atau *baseline* perbandingan. Grafik menunjukkan stabilitas performa model di berbagai tingkat resolusi, yang merupakan indikator penting dari kekokohan model. Jika garis-garis relatif datar seiring perubahan resolusi, ini menunjukkan bahwa model memiliki performa yang konsisten tanpa terpengaruh oleh perubahan skala analisis.

Tabel 4. 8 Validasi Model Tahun 2017

Validasi Model Tahun 2017	Metode ANN
% of Correctness	85.32322
Kappa (Overall)	0.60599

Validasi Model Tahun 2017	Metode ANN
<i>Kappa (histo)</i>	0.73237
<i>Kappa (loc)</i>	0.82745

Sumber: Hasil Analisis, 2025

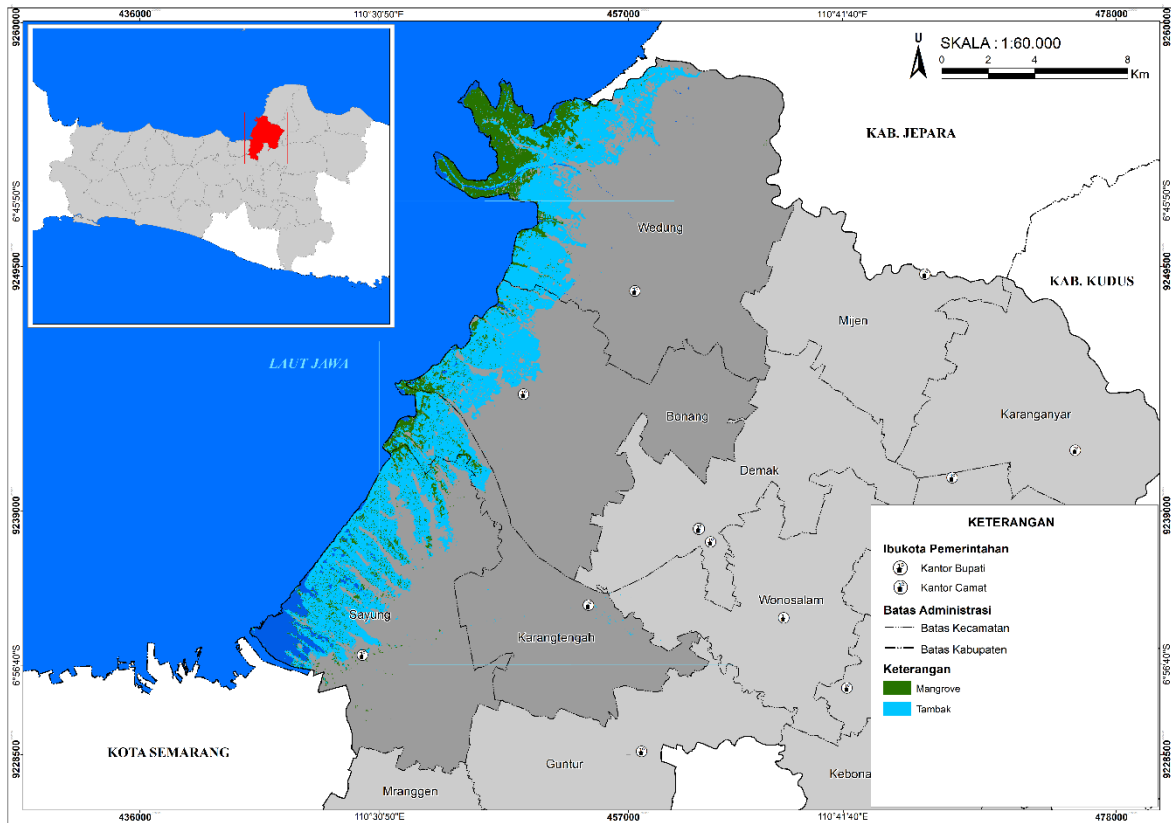
Berdasarkan tabel hasil validasi model tahun 2017, tingkat akurasi yang diperoleh mencapai 85,32%. Nilai ini menunjukkan bahwa model cukup andal dalam merepresentasikan perubahan lahan yang terjadi. Selain itu, nilai Kappa yang diperoleh juga cukup tinggi, dengan *Kappa Overall* sebesar 0,60599, *Kappa Stat* sebesar 0,73237, dan *Kappa Loc* sebesar 0,82745.

Tabel 4. 9 Validasi Model Tahun 2024

Validasi Model Tahun 2024	Metode ANN
<i>% of Correctness</i>	83.40741
<i>Kappa (Overal)</i>	0.56187
<i>Kappa (histo)</i>	0.72732
<i>Kappa (loc)</i>	0.77253

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Sementara itu, untuk validasi model tahun 2024, tingkat akurasi sedikit mengalami penurunan menjadi 83,40%. Meskipun demikian, nilai *Kappa Overall* dan *Kappa Stat* masih berada dalam kisaran yang cukup baik, masing-masing sebesar 0,56187 dan 0,72732. Nilai *Kappa Loc* sebesar 0,77253 menunjukkan bahwa model tetap memiliki tingkat keakuratan yang baik. Berikut hasil pengolahan dari model prediksi Kawasan mangrove tahun 2031



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 10 Peta Prediksi Kawasan Mangrove Tahun 2031

4.4 Kajian Kebijakan Rencana Pola Ruang Kabupaten Demak

Kajian Kebijakan Rencana Pola Ruang Kabupaten Demak merupakan analisis komprehensif terhadap kebijakan penataan ruang yang diterapkan di Kabupaten Demak, dengan fokus pada evaluasi implementasi dan efektivitas rencana yang telah ditetapkan sebelumnya. Kajian ini menjadi penting sebagai dasar untuk perumusan rekomendasi kebijakan yang lebih adaptif dan berkelanjutan dalam pengelolaan kawasan, khususnya yang berkaitan dengan ekosistem mangrove.

Dalam kajian ini dilakukan evaluasi terhadap rencana pola ruang yang telah ditetapkan, termasuk tingkat kesesuaian antara perencanaan dengan implementasi di lapangan. Analisis ini mengidentifikasi kesenjangan antara rencana ideal dengan kondisi aktual, serta mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan atau kendala dalam implementasi kebijakan tersebut. Evaluasi ini juga mempertimbangkan dampak dari perubahan kawasan mangrove yang telah terjadi selama periode analisis.

Selanjutnya, kajian ini membahas formulasi kebijakan rencana pola ruang yang lebih responsif terhadap dinamika perubahan kawasan mangrove di Kabupaten Demak. Aspek ini

mencakup strategi pengembangan kawasan yang memperhatikan keseimbangan antara kepentingan ekonomi, sosial, dan lingkungan, dengan penekanan pada upaya konservasi dan rehabilitasi ekosistem mangrove sebagai komponen penting dalam menjaga keberlanjutan kawasan pesisir.

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

Evaluasi terhadap Rencana Pola Ruang Kabupaten Demak menunjukkan adanya ketidaksesuaian yang signifikan antara alokasi kawasan dalam rencana pola ruang dengan prediksi tutupan lahan tahun 2031. Data menunjukkan bahwa kawasan ekosistem mangrove mengalami penurunan yang signifikan tiap tahunnya, dari 2665,71 Ha pada tahun 2003 menjadi 2491,2 Ha pada tahun 2010, kemudian 2259,36 Ha pada tahun 2017, dan 1993,05 Ha pada tahun 2024. Tren degradasi ini diproyeksikan akan terus berlanjut hingga hanya tersisa 1701,86 Ha pada tahun 2031. Penurunan signifikan ini berimplikasi langsung terhadap perubahan garis pantai Kabupaten Demak, dimana terjadinya abrasi pantai semakin intensif dan menyebabkan mundurnya garis pantai ke arah daratan. Fenomena ini tidak diantisipasi secara memadai dalam perencanaan awal, yang hanya mengalokasikan 701,264 Ha untuk kawasan mangrove, jauh di bawah luasan aktual yang dibutuhkan untuk menjaga kestabilan ekosistem pesisir.

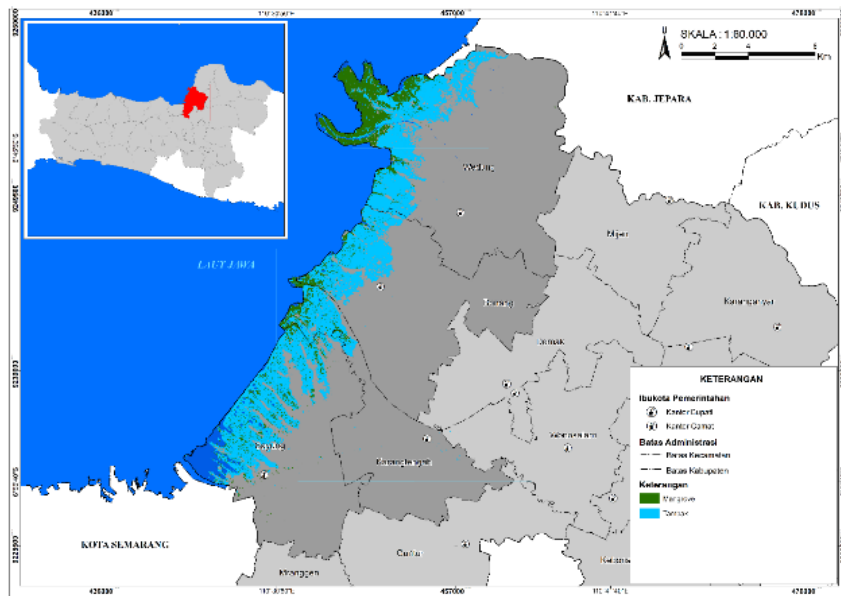
Terdapat 4 kecamatan yang memiliki perubahan garis pantai dari hasil prediksi yang telah dilakukan dengan *cellular automata*, yaitu: Kecamatan Sayung Kecamatan Karangtengah, Kecamatan Bonang, dan Kecamatan wedung.

Tabel 4. 10 Perubahan Garis Pantai

Kecamatan	Perubahan terjauh (km)	Perubahan terpendek (km)
Sayung	4,42	0,44
Karangtengah	4,54	2,22
Bonang	3,81	0,27
Wedung	2,94	0,44

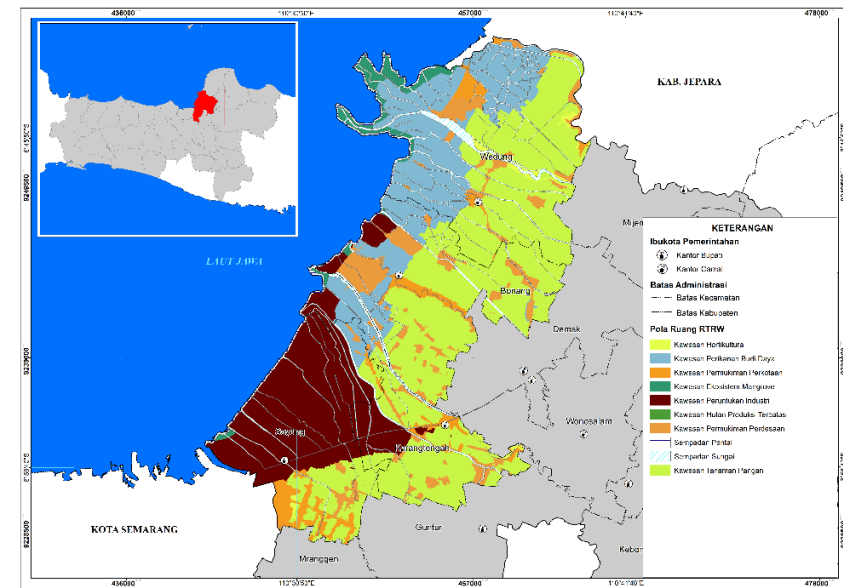
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel menunjukkan bahwa Kecamatan Karangtengah mengalami perubahan garis pantai terjauh, yaitu 4,54 km, diikuti oleh Kecamatan Sayung dengan 4,42 km. Kecamatan Bonang mengalami perubahan terjauh 3,81 km, sedangkan Kecamatan Wedung memiliki perubahan terjauh 2,94 km. Pengukuran perubahan dapat dilihat dalam **Lampiran 7**.



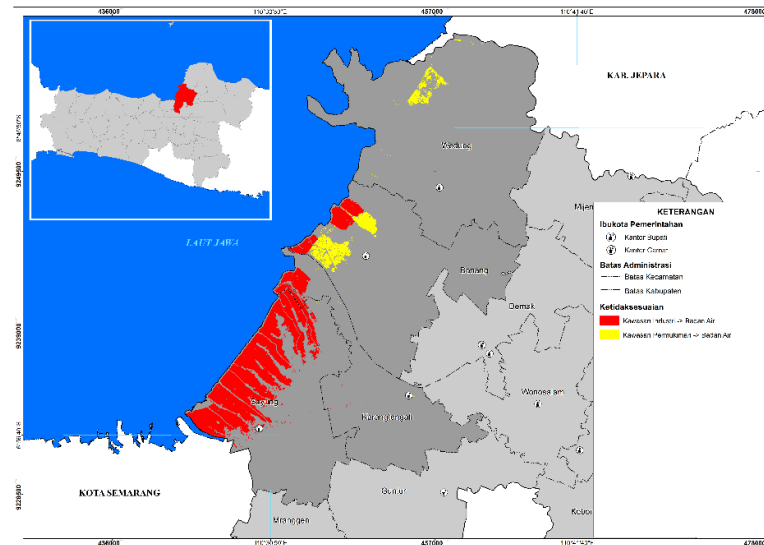
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 11 Peta Prediksi Kawasan Mangrove Tahun 2031



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 12 Peta Pola Ruang RTRW Pesisir Demak



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 13 Peta Ketidaksesuaian Prediksi dengan Pola Ruang

Berdasarkan peta perbandingan tersebut mengungkapkan bahwa kawasan peruntukan industri pada rencana pola ruang akan kehilangan 3282,48 Ha akibat perubahan garis pantai yang berkaitan dengan perubahan kawasan mangrove. Perubahan kawasan mangrove secara alami telah mengakibatkan abrasi di beberapa lokasi pesisir yang sebelumnya direncanakan sebagai kawasan industri. Fenomena abrasi ini mengubah karakteristik fisik lahan yang semula dianggap layak untuk pengembangan industri menjadi badan air dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap banjir rob dan intrusi air laut. Selain itu, kawasan permukiman juga terpengaruh dengan prediksi 610,77 Ha akan berubah menjadi badan air. Sebagai akibatnya, sekitar 3065,89 Ha dari total alokasi kawasan dalam rencana pola ruang menjadi tidak layak untuk dikembangkan sesuai peruntukannya dan secara alamiah bertransformasi menjadi badan air.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 14 Grafik Luas Mangrove dengan Luas Daratan Tahun 2003 - 2031

Fenomena ini menunjukkan bahwa perencanaan tata ruang Kabupaten Demak belum sepenuhnya mempertimbangkan hubungan timbal balik antara pertumbuhan mangrove dengan perubahan garis pantai, serta implikasinya terhadap pengembangan kawasan industri dan Kawasan permukiman di wilayah pesisir. Kondisi ini juga mengindikasikan perlunya pendekatan adaptif dalam perencanaan tata ruang yang mengakomodasi dinamika ekosistem pesisir dan perubahan garis pantai sebagai variabel penting dalam alokasi pemanfaatan ruang.

4.4.2 Kebijakan Rencana Pola Ruang Kabupaten Demak

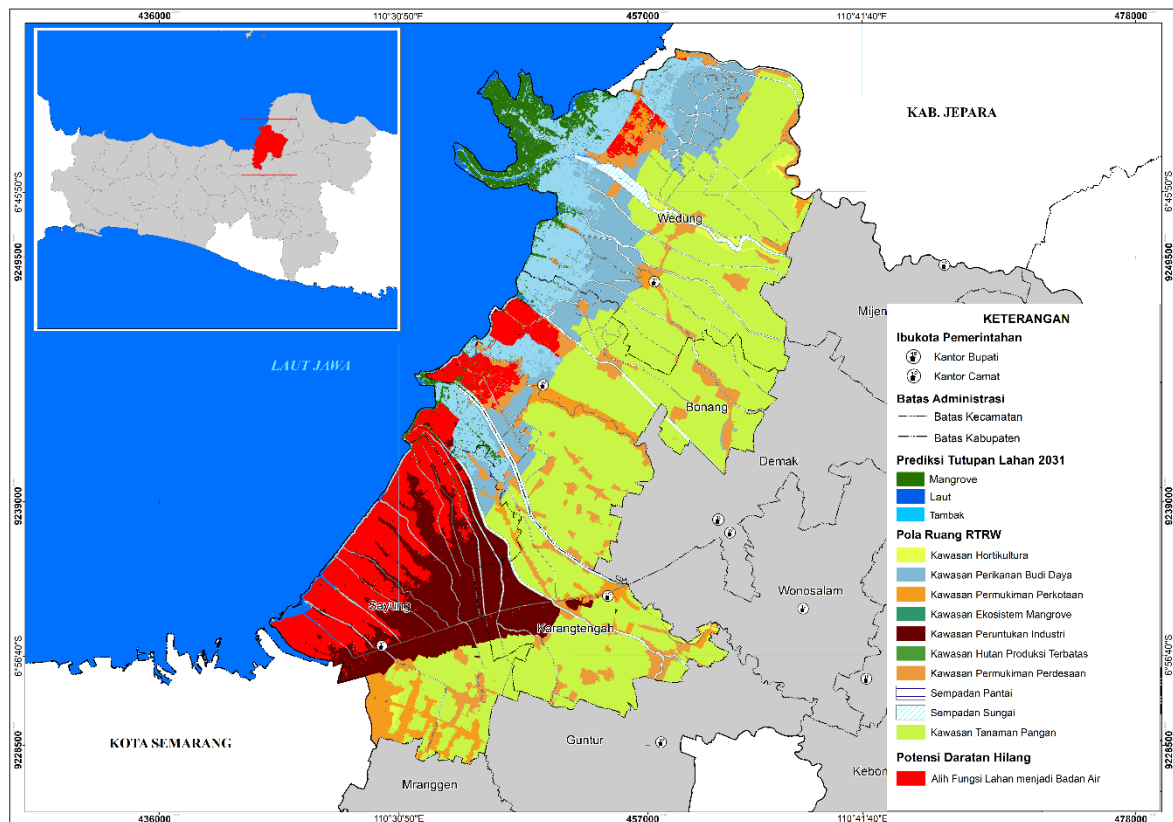
Kebijakan rencana pola ruang Kabupaten Demak yang tercermin dalam alokasi pemanfaatan ruang menunjukkan adanya prioritas pada pengembangan ekonomi melalui industrialisasi. Hal ini terlihat dari besarnya alokasi untuk kawasan peruntukan industri dibandingkan dengan sektor lainnya. Namun, kebijakan ini tampaknya belum sepenuhnya mempertimbangkan dinamika ekosistem pesisir, terutama terkait dengan pertumbuhan kawasan mangrove yang berkontribusi terhadap perubahan garis pantai. Seiring dengan waktu, perlu adanya keseimbangan antara pengembangan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan, khususnya dalam menjaga kawasan pesisir agar tetap berfungsi sebagai benteng alami terhadap abrasi, gelombang laut, serta dampak perubahan iklim lainnya.

Rencana pola ruang seharusnya tidak hanya berfokus pada alokasi kawasan untuk pengembangan industri tetapi juga memasukkan kawasan-kawasan yang harus diprioritaskan untuk dilindungi fungsinya. Peningkatan luas hutan mangrove yang signifikan mencerminkan pentingnya perlindungan ekosistem pesisir sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan. Hal ini belum sepenuhnya tercermin dalam kebijakan rencana pola ruang yang ada. Jika ekosistem pesisir tidak mendapatkan perlindungan yang cukup, maka akan terjadi degradasi lingkungan yang berpotensi mengancam keberlanjutan wilayah pesisir, mengganggu keseimbangan ekologi, serta mengurangi manfaat ekologis yang diberikan oleh kawasan mangrove, seperti penyerapan karbon, penyediaan habitat bagi biota laut, serta perlindungan terhadap abrasi dan banjir rob.

Kebijakan rencana pola ruang seharusnya bersifat realistis dan dapat diimplementasikan dalam jangka waktu yang telah direncanakan. Namun, terdapat kesenjangan yang cukup besar antara rencana kawasan peruntukan industri yang mencapai 7.651,346 hektare dengan prediksi tutupan lahan industri yang hanya sekitar 388,18 hektare. Hal ini menunjukkan bahwa kebijakan pengembangan kawasan industri di pesisir Demak kurang realistis mengingat dinamika perubahan garis pantai akibat pertumbuhan kawasan mangrove yang terus berlangsung setiap tahunnya. Oleh karena itu, diperlukan revisi kebijakan yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan perlindungan ekosistem pesisir, sehingga rencana pola ruang dapat benar-benar berfungsi sebagai instrumen yang mendukung pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

4.4.3 Arahan Penataan Pola Ruang

Perencanaan kawasan mangrove dan industri harus dilakukan dengan memperhatikan perubahan lingkungan pesisir yang difokuskan pada garis pantai terluar menuju arah daratan. Ini mencakup wilayah transisi antara laut dan ekosistem daratan yang dibatasi oleh batas administrasi sepanjang pesisir pantai di Kabupaten Demak



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 4. 15 Peta Perubahan Lahan RTRW Menjadi Badan Air

Arahan penataan ruang pada kawasan hortikultura, permukiman, dan industri yang terancam abrasi harus mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan mitigasi terhadap dampak lingkungan. Pada kawasan hortikultura, diperlukan strategi perlindungan melalui penerapan sistem agroforestri pesisir dengan kombinasi tanaman tahan salinitas seperti nipah dan pandan laut yang dapat berfungsi sebagai penahan abrasi serta meningkatkan produktivitas lahan (Kumar dkk., 2023). Pembangunan tanggul alami berbasis vegetasi seperti sabuk hijau mangrove dapat membantu mengurangi dampak gelombang terhadap area pertanian (Edyanto, 2016).

Kawasan permukiman disarankan menerapkan konsep *resilient coastal settlement*, seperti relokasi bertahap ke zona aman dan pembangunan rumah panggung yang adaptif

terhadap banjir rob serta kenaikan muka air laut (Warsilah, 2023). Kebijakan penguatan zona penyangga berbasis ekosistem diperlukan untuk menata ulang pemukiman agar tidak berada di kawasan rawan abrasi sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang berorientasi pada mitigasi bencana (Paudel dkk., 2024)

Kawasan industri dapat menerapkan langkah mitigasi melalui pembangunan pelindung pantai seperti breakwater dan seawall yang dirancang menahan abrasi serta menerapkan teknologi ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah industri agar tidak memperburuk erosi pesisir (Xia, 2025). Kebijakan zonasi berbasis risiko bencana perlu diterapkan mengatur lokasi industri agar tidak berada di area yang sangat rentan terhadap abrasi dan perubahan garis pantai (Guo dkk., 2025).