

IDENTIFIKASI KUALITAS PERAIRAN LAUT PESISIR MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2A

(Studi Kasus: Pesisir Laut Kabupaten Lamongan, Jawa Timur)

Novandra Ankaa Sabil¹, Feny Arafah², Adkha Yulianandha Mabur³

¹NIM 23250001, Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang

²NIP.P.1031500516, Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang

³NIP.P.1031700526, Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang

Email: 2125028@scholar.itn.ac.id

ABSTRAK

Kualitas perairan pesisir dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia, termasuk industri dan pembuangan limbah. Penelitian ini bertujuan menganalisis persebaran *Total Suspended Solid* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO), dan salinitas di pesisir Kabupaten Lamongan menggunakan citra Sentinel-2A, menguji akurasi hasil estimasi terhadap data lapangan, serta menentukan kondisi perairan berdasarkan Indeks Pencemaran. Citra tahun 2024–2026 diolah melalui *resampling*, *cropping*, MNDWI, dan algoritma estimasi TSS, DO, serta salinitas. Hasil estimasi 2026 divalidasi menggunakan NMAE dan R^2 . Persebaran TSS didominasi kelas 0–100 mg/L, sedangkan DO berkisar 2,93–5,21 mg/L dan salinitas 26–35 PSU. Nilai NMAE dan R^2 masing-masing sebesar 15,77% dan 0,621 untuk TSS, 9,05% dan 0,576 untuk DO, serta 5,34% dan 0,599 untuk salinitas. Hasil Indeks Pencemaran menunjukkan kondisi perairan umumnya masih memenuhi baku mutu, dengan indikasi pencemaran ringan pada beberapa lokasi tahun 2025.

Kata Kunci : Dissolved Oxygen, Indeks Pencemaran, kualitas perairan, salinitas, Sentinel-2A, Total Suspended Solid

ABSTRACT

Coastal water quality can be affected by human activities, including industrial activities and waste disposal. This study aimed to analyze the distribution of Total Suspended Solids (TSS), Dissolved Oxygen (DO), and salinity in the coastal waters of Lamongan Regency using Sentinel-2A imagery, evaluate the accuracy of the estimated results against field data, and assess water quality based on the Pollution Index. Sentinel-2A imagery from 2024–2026 was processed through resampling, cropping, MNDWI, and estimation algorithms for TSS, DO, and salinity. The 2026 estimation results were validated using NMAE and R^2 . TSS distribution was dominated by the 0–100 mg/L class, while DO ranged from 2.93–5.21 mg/L and salinity from 26–35 PSU. The NMAE and R^2 values were 15.77% and 0.621 for TSS, 9.05% and 0.576 for DO, and 5.34% and 0.599 for salinity, respectively. The Pollution Index indicated that the overall water quality generally met the applicable quality standards, although several locations showed indications of slight pollution in 2025.

Keywords : Dissolved Oxygen, Pollution Index, water quality, salinity, Sentinel-2A, Total Suspended Solid

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air laut akibat limbah industri merupakan permasalahan lingkungan yang dapat memengaruhi kualitas perairan, kesehatan ekosistem laut, serta keberlanjutan sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Material padatan tersuspensi dan limbah organik dapat meningkatkan kekeruhan, menghambat penetrasi cahaya, mengganggu proses fotosintesis, dan berkontribusi terhadap penurunan oksigen terlarut.

Wilayah pesisir Kabupaten Lamongan menjadi lokasi yang penting untuk dikaji karena terdapat aktivitas industri dan pelabuhan serta indikasi perubahan kondisi perairan. Pemantauan kualitas air secara konvensional memberikan informasi pada titik tertentu, sedangkan penginderaan jauh memungkinkan kondisi perairan dianalisis secara spasial pada wilayah yang lebih luas. Sentinel-2A memiliki band tampak dan inframerah yang dapat dimanfaatkan untuk mengekstraksi parameter kualitas perairan.

Penelitian terdahulu yang digunakan dalam skripsi menunjukkan bahwa citra Sentinel-2 dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kualitas air. Sultan et al. (2025) menggunakan Sentinel-2 untuk menganalisis TSS dan DO, sedangkan Oktavia et al. (2025) memanfaatkan algoritma Binding dan Bowers untuk estimasi salinitas. Muzdalifah et al. (2025) membandingkan beberapa algoritma TSS dan memperoleh algoritma Liu sebagai salah satu pendekatan yang representatif terhadap data in-situ.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini membahas sebaran TSS, DO, dan salinitas pada 2024–2026, mengevaluasi akurasi estimasi tahun 2026 terhadap data lapangan, serta menilai kondisi kualitas perairan menggunakan Indeks Pencemaran.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana sebaran konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO) dan Salinitas di perairan pesisir Lamongan berdasarkan data lapangan dan citra Sentinel-2?

2. Bagaimana tingkat akurasi hasil estimasi TSS, DO dan salinitas dari pengolahan citra Sentinel-2 dengan data pengukuran lapangan ?
3. Bagaimana kondisi kualitas air laut di pesisir Lamongan berdasarkan parameter *Total Suspended Solids* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO) dan salinitas ?

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka yang menjadi Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui sebaran konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO) dan Salinitas di perairan pesisir Lamongan berdasarkan data lapangan dan citra Sentinel-2
2. Mengetahui tingkat akurasi hasil estimasi TSS, DO dan salinitas dari pengolahan citra Sentinel-2 dengan data pengukuran lapangan.
3. Menganalisis kondisi kualitas air laut di pesisir Lamongan berdasarkan parameter *Total Suspended Solids* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO) dan salinitas.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapat dari rumusan masalah dan tujuan pada penelitian ini, yaitu:

1. Menjadi sumber informasi bagi pemerintah daerah dan instansi terkait dalam pengambilan kebijakan pengelolaan lingkungan pesisir serta pengendalian pencemaran air laut di wilayah Lamongan.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat pesisir mengenai kondisi kualitas perairan laut dan pentingnya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan guna menjaga kesehatan ekosistem dan keberlangsungan mata pencaharian nelayan.

1.2 Kajian Literatur

Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan metode untuk memperoleh informasi mengenai objek atau fenomena di permukaan bumi melalui sensor tanpa melakukan kontak langsung dengan objek yang diamati. Metode ini memungkinkan

pengumpulan data secara cepat dan mencakup wilayah yang luas, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kondisi lingkungan (Lillesand & Kiefer, 1979).

Dalam penelitian kualitas air, penginderaan jauh dapat digunakan untuk memperoleh informasi spasial mengenai kondisi perairan melalui data citra satelit. Pemanfaatan citra satelit memungkinkan pemantauan parameter kualitas air secara lebih luas dan efisien dibandingkan pengukuran lapangan yang terbatas pada titik tertentu. Pada penelitian ini, citra Sentinel-2A digunakan untuk mengestimasi parameter *Total Suspended Solids* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO), dan salinitas serta menganalisis persebarannya di wilayah pesisir Kabupaten Lamongan.

Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) menggambarkan besarnya materi atau partikel yang tersuspensi dalam air. Materi yang tersuspensi mempunyai dampak buruk terhadap kualitas air karena mengurangi penetrasi cahaya matahari ke dalam badan air, kekeruhan air meningkat yang menyebabkan gangguan pertumbuhan bagi organisme produser. Kualitas air yang jauh dari standar kondisi normal merupakan salah satu masalah besar yang perlu penanganan cepat agar dampak buruknya dapat diminimalisir (Ety Parwati., 2014).

Setiap parameter dihitung menggunakan algoritma yang telah terbukti pada penelitian sebelumnya dan relevan dengan karakteristik perairan Pesisir Laut Lamongan. Pada tahap ini, perhitungan algoritma dilakukan untuk setiap tahun pengamatan, yaitu 2024 hingga 2026. Estimasi TSS pada penelitian ini menggunakan algoritma Liu (2017) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$TSS (mg/L) = 2,950 \times B7^{1.357} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan

TSS = *Total Suspended Solid*

B7 = Nilai reflektansi *band 7*

Dissolved Oxygen (DO)

Oksigen terlarut atau DO adalah salah satu indikator penting dalam menilai kualitas air serta kesehatan lingkungan akuatik. Ketersediaan DO yang memadai

menjadi dasar untuk mendukung kehidupan berbagai organisme akuatik seperti ikan, udang, dan makroinvertebrata. Jika kadar oksigen terlarut turun, hal ini dapat menyebabkan stres fisiologis atau bahkan kematian massal pada organisme air serta mengurangi produktivitas perairan secara keseluruhan (Telaumbanua., 2025).

Untuk *dissolved oxygen* (DO) menggunakan algoritma yang dikemukakan oleh Mujito (1997). Persamaannya adalah :

$$DO = 5,2550 - 3,58125 \times \left[\frac{b2}{b4+1} \right] \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- DO = *Dissolved Oxygen*
- b2 = Nilai reflektansi *band 2*
- b4 = Nilai reflektansi *band 4*

Salinitas

Salinitas merupakan salah satu parameter fisika yang digunakan untuk menilai kualitas perairan. Salinitas didefinisikan sebagai jumlah total zat padat terlarut dalam satu kilogram air laut, yang dinyatakan dalam gram, dengan asumsi bahwa seluruh brom dan yodium digantikan oleh klorin dalam jumlah yang sebanding, seluruh karbonat diubah menjadi bentuk oksidanya, serta seluruh bahan organik mengalami proses oksidasi. Nilai salinitas umumnya dinyatakan dalam satuan gram per kilogram (g/kg) atau *part per thousand* (ppt). Setiap badan perairan memiliki karakteristik salinitas yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi lingkungannya (Rismayatika et al., 2019).

Sementara itu, perhitungan Salinitas dilakukan dengan menggunakan Algoritma Binding and Browers (2003) berikut ini :

$$X = \frac{\text{Band 3}}{\text{Band 4}} \dots\dots\dots (3)$$

$$CDOM = 40,75 e^{-2,463x} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Salinitas} = -12,19 \times CDOM(440) + 35,17 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan

- Band 3 = Reflektan *Band 3*

Band 4 = Reflektan *Band 4*

Salinitas = Nilai salinitas perairan laut

CDOM = Nilai *Colored Dissolved Organic Matter*

Uji Akurasi

Hasil estimasi parameter dari citra tahun 2026 selanjutnya akan divalidasi menggunakan data lapangan melalui uji akurasi dengan metode koefisien determinasi. R^2 digunakan untuk mengetahui kemampuan hasil estimasi dalam menjelaskan variasi nilai observasi. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai yang mendekati 1 menunjukkan kesesuaian hasil estimasi yang semakin baik terhadap nilai observasi. Sebaliknya, nilai yang mendekati 0 menunjukkan tingkat kesesuaian yang rendah. Dengan demikian, R^2 dapat digunakan sebagai indikator kesesuaian antara hasil estimasi citra dan data pengukuran lapangan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Jaelani, 2016):

$$R^2 = \left(\frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \right)^2 \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan

R^2 = Koefisien determinasi.

N = Jumlah data atau titik sampel.

x = Nilai hasil estimasi dari citra *Sentinel-2A*.

y = Nilai hasil pengukuran lapangan (*in situ*).

$\sum x$ = Jumlah seluruh nilai estimasi.

$\sum y$ = Jumlah seluruh nilai pengukuran lapangan.

$\sum xy$ = Jumlah hasil perkalian antara nilai estimasi dan nilai pengukuran lapangan.

Selain R^2 , digunakan juga NMAE untuk menilai tingkat kualitas atau kelayakan data. Data hasil estimasi dinyatakan layak apabila nilai $NMAE \leq 30\%$, yang berarti tingkat kesalahan relatif masih dalam batas yang dapat diterima. Adapun NMAE adalah sebagai berikut (La Ode., 2022):

$$NMAE(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_{si} - X_i}{X_i} \right| \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

Dengan x nilai hasil pengolahan dan y merupakan nilai hasil pengukuran yang dianggap benar serta N adalah jumlah data.

Keterangan

NMAE (%) = Nilai *Normalized Mean Absolute Error* (%).

N = Jumlah data atau titik sampel.

X_{si} = Nilai hasil estimasi dari citra *Sentinel-2A*.

X_i = Nilai hasil pengukuran lapangan (*in situ*).

2. METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Penelitian dengan judul Identifikasi Kualitas Air Laut Yang Dipengaruhi Limbah Pesisir Menggunakan Citra Sentinel 2 (Studi Kasus: Brondong-Kabupaten Lamongan, Jawa Timur) secara geografis Kabupaten Lamongan terletak pada $6^{\circ}51'54''$ - $7^{\circ}23'06''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}33'45''$ - $112^{\circ}33'45''$ Bujur Timur, Batas wilayah penelitian ditentukan berdasarkan ketentuan Pasal 14 ayat (6), yaitu batas wilayah kelautan kabupaten diukur sejauh 4 mil laut (± 6 km) dari garis pantai ke arah laut lepas. Penetapan batas tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan cakupan wilayah penelitian di perairan Kabupaten Lamongan (UU Nomor 23, 2014).



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Alat Dan Bahan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian tugas akhir meliputi :

A. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Tabel 1 Alat Penelitian

No	Nama	Jumlah	Fungsi
1	<i>Software SNAP</i>	1	Pengolahan Algoritma TSS, DO, dan Salinitas
2	<i>Software ArcGIS</i>	1	Pembuatan <i>layout</i>
3	<i>Software Microsoft Office</i>	1	Penyusunan skripsi
4	<i>GPS Handheld</i>	1	Pembuatan marking sampel
5	Kapal	1 Unit	Pengambilan sampel air laut
6	Pipa	1 Buah	Pengambilan sampel air laut
7	Botol	28 Buah	Pengambilan sampel air laut
8	Kawat	2 Meter	Membantu saat pengambilan sampel air laut
9	Laboratorium Jasa Tirta		Menguji kadar Sampel TSS, DO, dan Salinitas

B. Bahan Penelitian

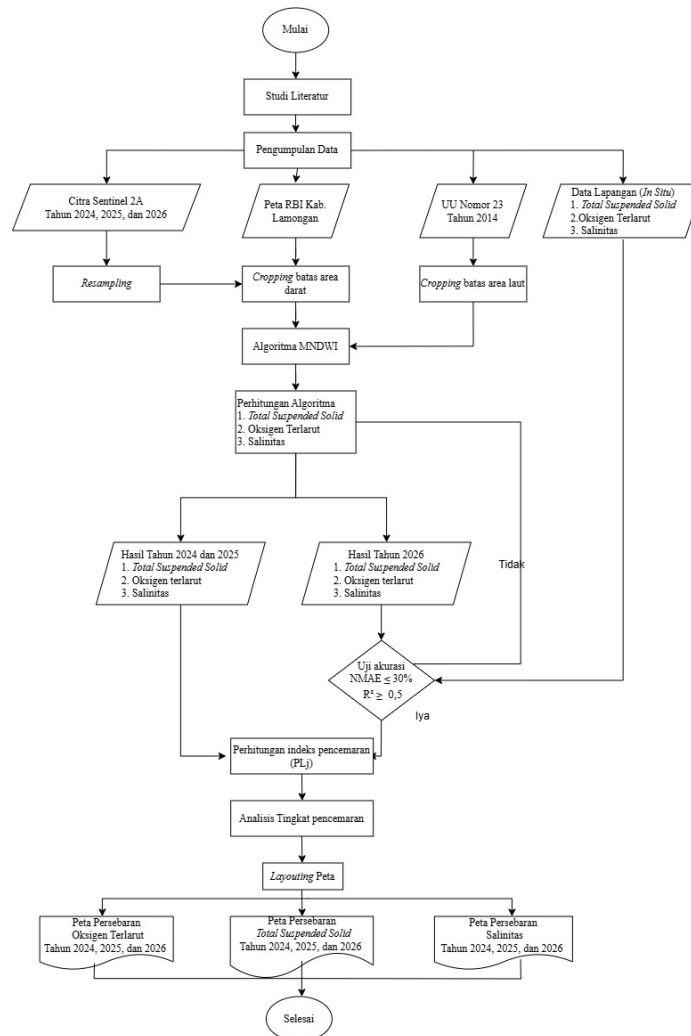
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Tabel 2 Bahan Penelitian

NO	Nama	Jumlah	Fungsi
1	Citra Satelit <i>Sentinel-2A</i> tahun 2024, 2025, dan 2026	1	Data utama penelitian
2	RBI Kab. Lamongan	1	Data yang digunakan sebagai acuan pemotongan citra satelit guna memperoleh data wilayah sesuai kebutuhan penelitian dan pembuatan <i>layout</i> peta
3	Data Survey Lapangan Langsung (<i>in situ</i>)	1	Data yang digunakan untuk validasi perhitungan Oksigen Terlarut, TSS dan Salinitas

4	Dokumentasi Survey Lapangan	1	Bukti Pelaksanaan dan penyusunan laporan
---	-----------------------------	---	--

2.3 Diagram Alir

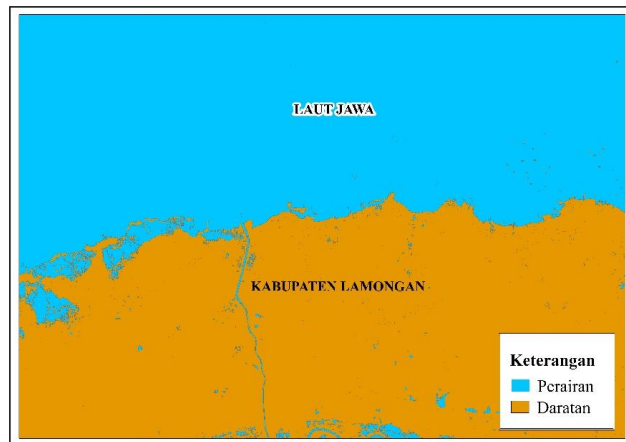


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI)

Hasil MNDWI digunakan sebagai masking untuk memisahkan wilayah perairan dari daratan. Pixel dengan nilai positif (>0) menunjukkan badan air, sedangkan pixel negatif (<0) menunjukkan objek non-air. Pemisahan ini memungkinkan perhitungan TSS, DO, dan salinitas hanya dilakukan pada pixel yang merepresentasikan perairan.



Gambar 3 Hasil *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI)

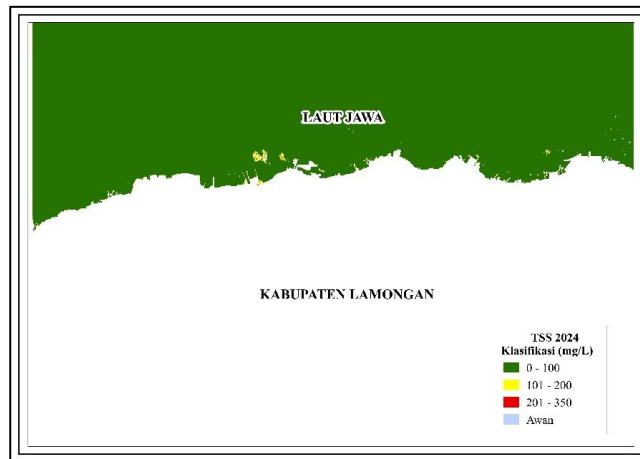
3.2 Persebaran *Total Suspended Solid* (TSS)

Hasil *Total Suspended Solid* (TSS) berdasarkan pengolahan citra Sentinel-2A tahun 2024 – 2026 adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Nilai *Total Suspended Solid* (TSS)

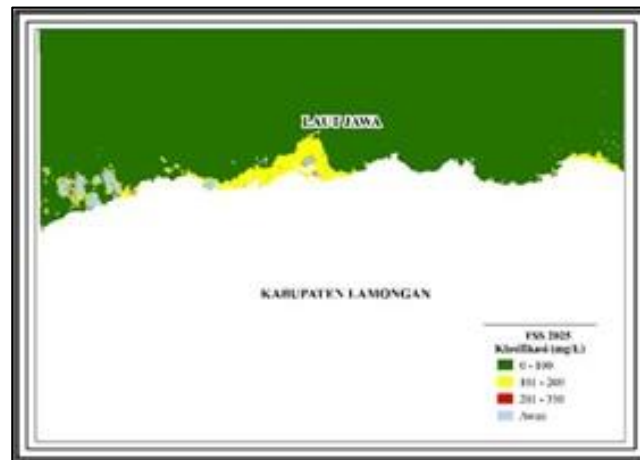
Tahun	0–100 mg/L	101–250 mg/L	251–350 mg/L
2024	99,78%	0,18%	0,02%
2025	94,99%	3,75%	0,22%
2026	98,79%	0,76%	0,20%

Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) yang dihasilkan kemudian divisualisasikan secara tahunan, sebagaimana disajikan berikut ini :



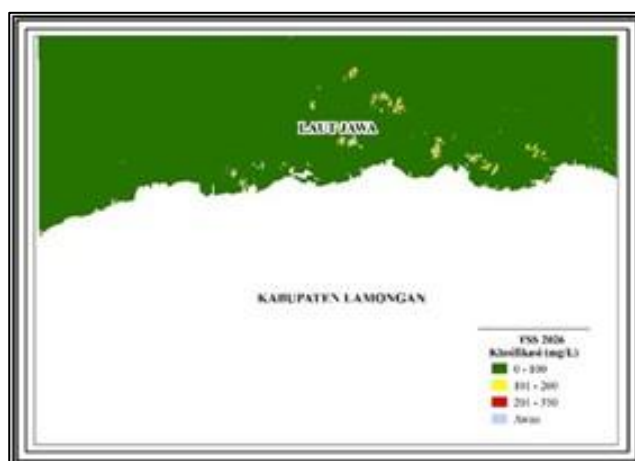
Gambar 4 Estimasi *Total Suspended Solid* Tahun 2024

Berdasarkan Gambar 4, perairan di wilayah penelitian didominasi oleh konsentrasi TSS yang relatif rendah. Meskipun demikian, beberapa lokasi menunjukkan konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu air laut untuk kawasan pelabuhan sebesar 80 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021.



Gambar 5 Estimasi *Total Suspended Solid* Tahun 2025

Berdasarkan Gambar 5, perairan di wilayah penelitian didominasi konsentrasi TSS kategori rendah. Namun, beberapa lokasi memiliki konsentrasi TSS di atas baku mutu air laut untuk kawasan pelabuhan sebesar 80 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, yang diduga berkaitan dengan masukan material tersuspensi dari daratan dan aktivitas di sekitar kawasan pelabuhan.



Gambar 6 Estimasi *Total Suspended Solid* Tahun 2026

Berdasarkan Gambar 6, perairan di wilayah penelitian didominasi oleh konsentrasi TSS yang relatif rendah. Meskipun demikian, beberapa lokasi menunjukkan konsentrasi TSS yang melebihi baku mutu air laut untuk kawasan pelabuhan sebesar 80 mg/L berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021.

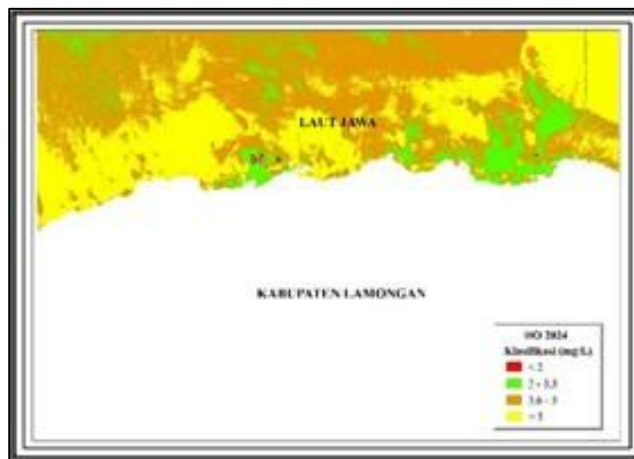
3.3 Persebaran *Dissolved Oxygen* (DO)

Hasil Dissolve Oxygen (DO) berdasarkan pengolahan citra Sentinel-2A tahun 2024 – 2026 adalah sebagai berikut:

Tabel 4 Nilai *Dissolve Oxygen* (DO)

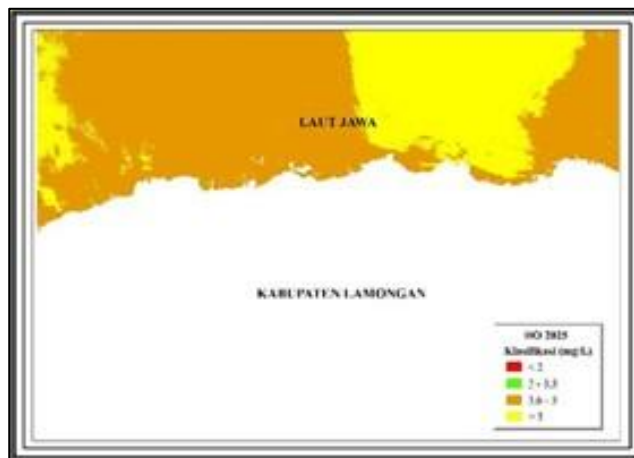
Tahun	<2 mg/L	2–3,5 mg/L	3,5–5 mg/L	>5 mg/L
2024	0,13%	11,17%	50,60%	38,10%
2025	0,00%	0,06%	66,74%	33,20%
2026	0,01%	0,04%	9,56%	90,39%

Nilai *Dissolve Oxygen* (DO) yang dihasilkan kemudian divisualisasikan secara tahunan, sebagaimana disajikan berikut ini :



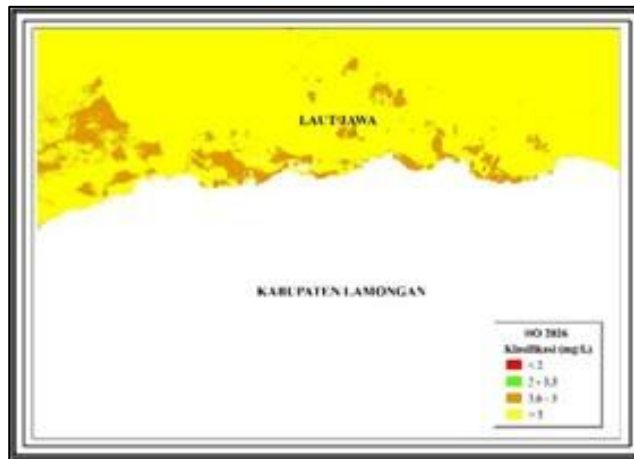
Gambar 7 Estimasi *Dissolve Oxygen* Tahun 2024

Berdasarkan Gambar 7, bahwa sebagian besar wilayah perairan pesisir Kabupaten Lamongan memiliki nilai *Dissolved Oxygen* (DO) pada kategori 3,5–5 mg/L, sedangkan kategori >5 mg/L juga menempati luas yang cukup besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa kualitas oksigen terlarut di wilayah penelitian secara umum berada pada kisaran sedang hingga baik.



Gambar 8 Estimasi *Dissolve Oxygen* Tahun 2025

Berdasarkan Gambar 8, perairan pesisir Kabupaten Lamongan pada tahun 2025 didominasi kadar DO 3,5–5 mg/L dan >5 mg/L. Secara umum, kondisi DO berada pada tingkat sedang hingga baik, meskipun beberapa lokasi menunjukkan nilai rendah yang diduga dipengaruhi oleh aktivitas pesisir.



Gambar 9 Estimasi *Dissolve Oxygen* Tahun 2024

Berdasarkan Gambar 9, bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas *Dissolved Oxygen* (DO) >5 mg/L, sedangkan kelas 3,5–5 mg/L hanya mencakup sebagian kecil wilayah. Adapun kelas 2–3,5 mg/L dan <2 mg/L hanya ditemukan pada area yang sangat terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kualitas oksigen terlarut di perairan pesisir Kabupaten Lamongan pada tahun 2026 secara umum telah memenuhi baku mutu air laut

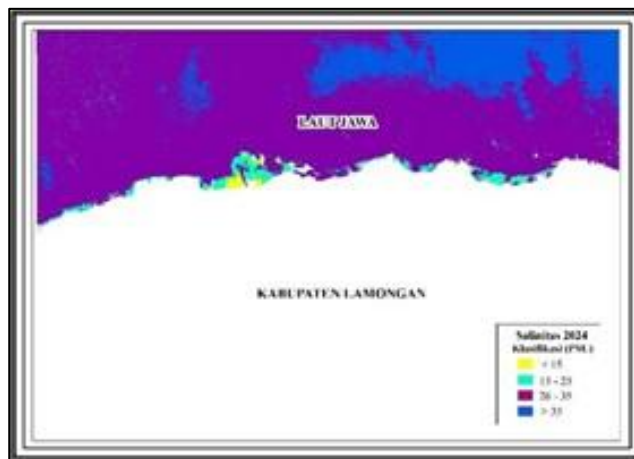
3.4 Persebaran Salinitas

Hasil Salinitas berdasarkan pengolahan citra *Sentinel-2A* tahun 2024 – 2026 adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Nilai Salinitas

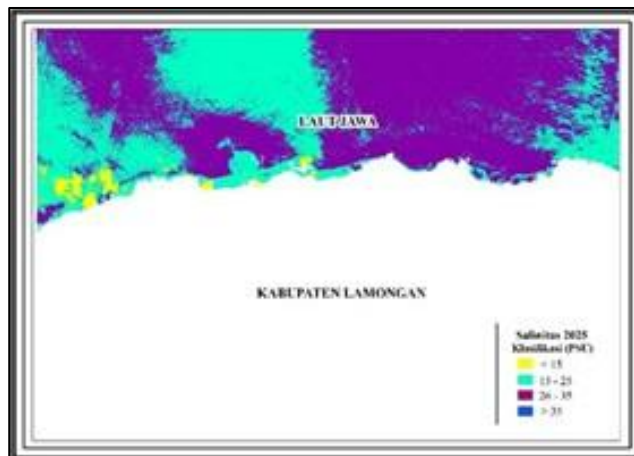
Tahun	<15 PSU	15–25 PSU	25–35 PSU	>35 PSU
2024	0,59%	2,81%	78,33%	18,27%
2025	1,66%	39,50%	58,84%	0,00%
2026	1,34%	5,64%	93,02%	0,00%

Nilai Salinitas yang dihasilkan kemudian divisualisasikan secara tahunan, sebagaimana disajikan berikut ini :



Gambar 10 Estimasi Salinitas Tahun 2024

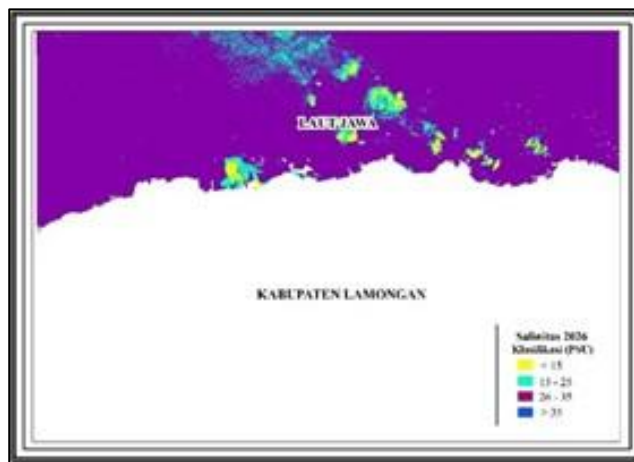
Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas salinitas 25–35 PSU, sedangkan kelas >35 PSU mencakup wilayah yang lebih kecil. Adapun kelas 15–25 PSU dan <15 PSU hanya ditemukan pada sebagian kecil area. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa salinitas di perairan pesisir Kabupaten Lamongan pada tahun 2024 secara umum masih berada pada kisaran normal perairan laut, sehingga mencerminkan kondisi yang relatif stabil.



Gambar 11 Estimasi Salinitas Tahun 2025

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas salinitas 25–35 PSU, sedangkan kelas >35 PSU juga mencakup wilayah yang cukup luas. Sementara itu, kelas 15–25 PSU hanya terdapat pada sebagian kecil wilayah dan kelas <15 PSU hampir tidak ditemukan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa salinitas

di perairan pesisir Kabupaten Lamongan pada tahun 2025 secara umum masih berada pada kisaran normal hingga tinggi. Keberadaan wilayah dengan salinitas di atas 35 PSU diduga dipengaruhi oleh tingginya proses penguapan, berkurangnya masukan air tawar, serta dinamika oseanografi di kawasan pesisir. Selain itu, pada beberapa lokasi di sekitar kawasan industri dan pelabuhan, aktivitas pembuangan limbah ke perairan juga diduga berkontribusi terhadap perubahan karakteristik kualitas air, termasuk variasi nilai salinitas, meskipun besarnya pengaruh memerlukan kajian lebih lanjut melalui pengukuran lapangan.



Gambar 12 Estimasi Salinitas Tahun 2026

Berdasarkan Gambar 12, terlihat bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kelas salinitas 25–35 PSU, sedangkan kelas 15–25 PSU hanya mencakup sebagian kecil wilayah. Adapun kelas <15 PSU dan >35 PSU hanya ditemukan pada area yang sangat terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa salinitas di perairan pesisir Kabupaten Lamongan pada tahun 2026 secara umum berada pada kisaran normal perairan laut.

3.5 Perubahan Parameter 2024–2026

Analisis perubahan parameter kualitas air dilakukan untuk mengetahui perubahan distribusi TSS, DO, dan salinitas pada perairan pesisir Kabupaten Lamongan selama periode 2024–2026. Perubahan setiap parameter dianalisis berdasarkan persentase luas pada masing-masing kelas.

a. *Total Suspended Solid (TSS)*

Berdasarkan analisis perubahan distribusi *Total Suspended Solid* (TSS), kondisi perairan pada tahun 2024 didominasi oleh kelas konsentrasi 0–100 mg/L dengan cakupan sebesar 99,78%, sedangkan kelas 101–250 mg/L hanya sebesar 0,18%. Pada tahun 2025, terjadi perubahan distribusi yang menunjukkan penurunan kualitas perairan, ditandai dengan berkurangnya kelas 0–100 mg/L menjadi 94,99% dan meningkatnya kelas 101–250 mg/L menjadi 3,75%. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi padatan tersuspensi yang diduga berkaitan dengan aktivitas atau masukan pencemar di wilayah pesisir. Selanjutnya, pada tahun 2026 kondisi perairan menunjukkan kecenderungan membaik, dengan luas kelas 0–100 mg/L meningkat menjadi 98,79%, sementara kelas 101–250 mg/L menurun menjadi 0,76%. Secara keseluruhan, distribusi TSS memperlihatkan adanya fluktuasi kondisi perairan selama periode 2024–2026, dengan penurunan kualitas pada tahun 2025 dan kecenderungan pemulihan pada tahun 2026.

b. *Dissolve Oxygen (DO)*

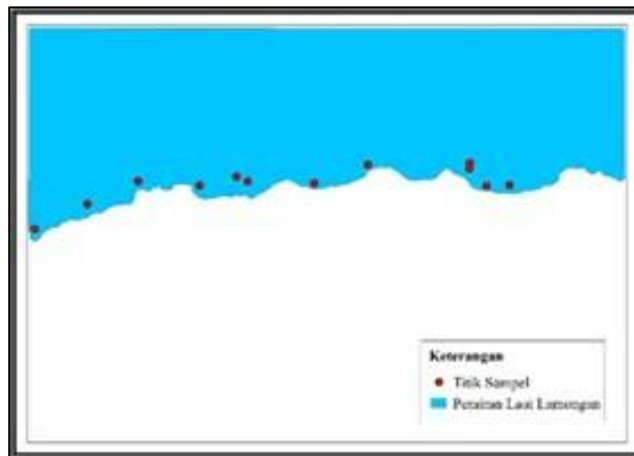
Analisis distribusi *Dissolved Oxygen* (DO) pada perairan pesisir Kabupaten Lamongan selama periode 2024–2026 menunjukkan adanya perubahan kondisi oksigen terlarut setiap tahunnya. Pada tahun 2024, distribusi DO didominasi oleh kelas 3,5–5 mg/L dengan luas sebesar 50,60%, diikuti kelas >5 mg/L sebesar 38,10%. Sementara itu, kelas 2–3,5 mg/L mencakup 11,17% dan kelas <2 mg/L sebesar 0,13%. Pada tahun 2025, kelas 3,5–5 mg/L mengalami peningkatan menjadi 66,74%, sedangkan kelas >5 mg/L menurun menjadi 33,20%. Kelas 2–3,5 mg/L mengalami penurunan hingga 0,01%, sementara kelas <2 mg/L tidak lagi teridentifikasi. Pada tahun 2026, terjadi perubahan yang lebih signifikan dengan dominasi kelas >5 mg/L yang mencapai 90,40%, sedangkan kelas 3,5–5 mg/L menurun menjadi 9,60%. Kelas DO <2 mg/L dan 2–3,5 mg/L juga tidak ditemukan. Secara keseluruhan, distribusi DO menunjukkan adanya peningkatan kondisi oksigen terlarut pada tahun 2026, yang mengindikasikan kondisi kualitas perairan pesisir Kabupaten Lamongan lebih baik dibandingkan periode sebelumnya.

c. Salinitas

Analisis distribusi salinitas di perairan pesisir Kabupaten Lamongan selama periode 2024–2026 menunjukkan adanya perubahan sebaran kelas salinitas setiap tahunnya. Pada tahun 2024, kelas 25–35 PSU mendominasi sebesar 78,3%, diikuti kelas >35 PSU sebesar 18,3%, sedangkan kelas <15 PSU dan 15–25 PSU masing-masing sebesar 0,6% dan 2,8%. Pada tahun 2025, terjadi penurunan salinitas yang ditunjukkan oleh peningkatan kelas 15–25 PSU menjadi 39,5% dan penurunan kelas 25–35 PSU menjadi 58,8%. Sementara itu, pada tahun 2026 kelas 25–35 PSU kembali mendominasi hingga 93,0%, sedangkan kelas 15–25 PSU menurun menjadi 5,6% dan kelas <15 PSU sebesar 1,3%. Secara keseluruhan, salinitas mengalami penurunan pada tahun 2025 dan kembali meningkat pada tahun 2026, menunjukkan kondisi perairan yang lebih stabil.

3.6 Uji Akurasi Tahun 2026

Berikut merupakan visualisasi persebaran titik sampel di perairan Pesisir Laut Lamongan:



Gambar 13 Persebaran titik sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 10 titik yang tersebar di sepanjang garis pantai. Penentuan titik sampling bertujuan untuk memperoleh data lapangan yang dapat merepresentasikan kondisi atau karakteristik wilayah penelitian sebagai acuan dalam proses analisis. Berikut disajikan hasil perhitungan uji akurasi :

Tabel 6 Uji Akurasi

Parameter	NMAE	R ²	Keterangan
TSS	15,77%	0,621	Model baik
DO	9,05%	0,576	Model baik
Salinitas	5,34%	0,599	Model baik

Uji akurasi tahun 2026 dilakukan dengan membandingkan hasil estimasi citra dan data pengukuran lapangan pada 10 titik. Hasil pengujian menunjukkan NMAE TSS sebesar 15,77% dengan R² 0,621, DO sebesar 9,05% dengan R² 0,576, dan salinitas sebesar 5,34% dengan R² 0,599. Seluruh NMAE berada di bawah batas 30% dan seluruh R² berada pada rentang model baik berdasarkan kategori yang digunakan dalam penelitian.

3.7 Kondisi Kualitas Perairan

Penentuan kondisi kualitas perairan dilakukan menggunakan Indeks Pencemaran (IP) dengan parameter *Total Suspended Solid* (TSS), *Dissolved Oxygen* (DO), dan salinitas. Berdasarkan hasil pengolahan data, kondisi kualitas perairan dianalisis melalui dua sumber data, yaitu hasil pengukuran laboratorium dan hasil estimasi citra *Sentinel-2A*

Kriteria Indeks Pencemaran yang digunakan adalah $0 \leq IP \leq 1,0$ memenuhi baku mutu; $1,0 \leq IP \leq 5,0$ cemar ringan; $5,0 \leq IP \leq 10,0$ cemar sedang; dan $IP \geq 10,0$ cemar berat.

Tabel 7 Persentase kondisi kualitas perairan berdasarkan data Laboratorium

Tahun	Memenuhi baku mutu	Cemar ringan	Cemar sedang	Cemar berat
2026	100%	0%	0%	0%

Berdasarkan hasil survei lapangan tahun 2026 pada 10 titik pengamatan, seluruh titik memiliki nilai Indeks Pencemaran $\leq 1,0$, sehingga kondisi kualitas perairan

termasuk dalam kategori memenuhi baku mutu. Hasil tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan data pengukuran lapangan, kondisi perairan pada lokasi penelitian tahun 2026 masih berada dalam kondisi baik.

Tabel 8 Persentase kondisi kualitas perairan berdasarkan pengolahan citra

Tahun	Memenuhi baku mutu	Cemar ringan	Cemar sedang	Cemar berat
2024	100%	0%	0%	0%
2025	82%	18%	0%	0%
2026	100%	0%	0%	0%

Berdasarkan hasil pengolahan citra *Sentinel-2A*, kondisi kualitas perairan pada tahun 2024 dan 2026 secara umum berada pada kategori memenuhi baku mutu, sedangkan pada tahun 2025 terdapat beberapa lokasi yang termasuk dalam kategori tercemar ringan. Kondisi tersebut ditandai dengan adanya peningkatan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dan penurunan nilai *Dissolve Oxygen* (DO) pada beberapa wilayah pesisir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengolahan citra *Sentinel-2A* menunjukkan bahwa persebaran TSS pada tahun 2024–2026 secara umum berada pada kisaran 0-100 mg/L, dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu. Namun, pada tahun 2025 teridentifikasi peningkatan nilai TSS pada beberapa lokasi Sementara itu, nilai DO berada pada kisaran 2,93–5,21 mg/L, dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu, meskipun pada beberapa titik pada tahun 2025 terjadi penurunan kadar DO yang mengindikasikan penurunan kualitas

- perairan. Nilai salinitas berada pada kisaran sekitar 26–35 PSU dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu, meskipun pada beberapa titik pada tahun 2025 terjadi penurunan.
2. Hasil pengolahan citra Sentinel-2A menunjukkan bahwa persebaran TSS pada tahun 2024–2026 secara umum berada pada kisaran 0–100 mg/L, dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu. Namun, pada tahun 2025 teridentifikasi peningkatan nilai TSS pada beberapa lokasi Sementara itu, nilai DO berada pada kisaran 2,93–5,21 mg/L, dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu, meskipun pada beberapa titik pada tahun 2025 terjadi penurunan kadar DO yang mengindikasikan penurunan kualitas perairan. Nilai salinitas berada pada kisaran sekitar 26–35 PSU dengan sebagian besar wilayah masih memenuhi baku mutu, meskipun pada beberapa titik pada tahun 2025 terjadi penurunan.
 3. Berdasarkan parameter TSS, DO, dan salinitas, hasil Indeks Pencemaran menunjukkan kondisi perairan secara umum masih memenuhi baku mutu. Namun, analisis spasial citra Sentinel-2A tahun 2025 menunjukkan beberapa lokasi mengalami indikasi pencemaran ringan.

4.2 Saran

Adapun saran dari berbagai kendala yang dialami penulis adalah sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah titik pengambilan sampel lapangan yang lebih banyak dan tersebar merata sehingga proses validasi hasil estimasi citra dapat menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi.
2. Pengambilan data lapangan sebaiknya dilakukan pada waktu yang berdekatan dengan tanggal akuisisi citra *Sentinel-2A* agar kondisi perairan yang dibandingkan memiliki kesesuaian temporal sehingga hasil validasi menjadi lebih representatif.

3. Penelitian berikutnya dapat menambahkan parameter kualitas air lainnya seperti pH, klorofil-a, BOD, COD, nitrat, fosfat, maupun logam berat sehingga kondisi kualitas perairan dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

5. REFERENSI (APA 7 style)

- Adack, J. (2013). Dampak pencemaran limbah pabrik terhadap lingkungan hidup. *Lex Administratum*, 1(3).
- Binding, C. E., & Browsers, D. (2003). Measuring the salinity of the Clyde Sea from remotely sensed ocean colour. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(4), 605–611.
- Eko Wahyu. (2025, August 10). *Enam desa di Lamongan terkepung bau busuk, warga desak PT QL hentikan pembuangan limbah ke laut*.
- Handoko. (2025, December 5). *Diduga cemari lingkungan, ratusan warga bersama GenPATRA kepung PT QL Hasil Laut*. Nasionalnews.id.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. (2003). Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Lillesand, T. M. (1979). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, Inc.
- Mujito. (1997). *Evaluasi penginderaan jauh untuk studi dasar lingkungan wilayah kerja Unocal Indonesia Company Kalimantan Timur*.
- Muzdalifah, Z. H. (2025). Pemanfaatan citra Sentinel-2 untuk pemetaan sebaran *Total Suspended Solids* (TSS) di Muara Sungai Porong Sidoarjo. *Jurnal Kelautan*, 18(3), 347–358.
- Patty, S. I., & F. Y. (2021). Analisis kualitas perairan Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara berdasarkan parameter fisika-kimia air laut. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(1), 113–122.

- Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021*.
- Purwanto, E. P. (2014). Analisis algoritma ekstraksi TSS menggunakan data Landsat 8 di perairan Berau. *Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh*.
- Restele, L. O. (2022, December 2). *Evaluasi algoritma Total Suspended Solid (TSS) pada citra Sentinel-2 di Teluk*.
- Rismayatika, F. (2019). Identifikasi perubahan salinitas air di perairan sekitar pembangunan reklamasi Citraland City Kota Makassar menggunakan citra Landsat 8. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-6 Tahun 2019*.
- Riyanto, B. (2012). *Analisis regresi untuk penelitian ilmiah* (Edisi 1).
- Romimohtaro. (1991). *Ekosistem laut dan baku mutu air*.
- Sastroasmoro. (2014). *Dasar-dasar metodologi penelitian klinis* (Edisi 5).
- Sinaga, S. H., & A. S. (2018). Analisis ketersediaan ruang terbuka hijau dengan metode *Normalized Difference Vegetation Index* dan *Soil Adjusted Vegetation Index* menggunakan citra satelit Sentinel-2A. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Suprptini. (2002). Pengaruh limbah industri terhadap lingkungan di Indonesia. *Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan*, 12(2), 10.
- Telaumbanua, M. (2025). Pengaruh oksigen terlarut (DO) dalam budidaya perairan. *PERAUT: Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 2(1), 200–206.
- Tsai, Y.-L. S. (2019). Remote sensing of snow cover using spaceborne SAR: A review. *Remote Sensing*, 11(12), 1456.
- Wibowo, & Rahman. (2020). Kajian kualitas perairan laut sekitar Muara Sungai Jelitik Kecamatan Sungailiat, Kabupaten Bangka. *Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*.

- Wikanta, D. K. (2012). Pengolahan limbah pewarnaan konveksi dengan bantuan adsorben ampas tebu dan activated sludge. *Prosiding Simposium Nasional*.
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*.