

Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran di Perairan Pulau Pelapis Kalimantan Barat

Indriyani¹, Zan Zibar¹, Sofi Siti Shofiyah^{1,2*}

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Kelautan, Universitas OSO

²Program Studi Kimia, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Kelautan, Universitas OSO

Jl. Untung Suropati No. 99 Kota Pontianak, 78113, Indonesia

Corresponding author, e-mail: sofi@oso.ac.id

ABSTRAK: Kualitas air memiliki peranan penting dalam mendukung kelangsungan hidup biota di perairan laut serta produktivitas masyarakat pesisir, sehingga penting untuk menilai tingkat pencemaran saat ini. Salah satu daerah pesisir yang memiliki potensi peningkatan produktivitas di sektor perikanan dan wisata bahari adalah Pulau Pelapis, Kalimantan Barat. Sebagai langkah awal, dilakukan penelitian untuk menentukan nilai indeks pencemaran dan kualitas air di perairan Pulau Pelapis berdasarkan parameter fisika-kimia air, serta menyusun peta sebaran menggunakan ArcGIS dan metode inverse distance weighting (IDW). Sampel air laut diambil pada dua belas stasiun penelitian, dengan parameter yang dianalisis meliputi suhu, kecerahan, oksigen terlarut, salinitas, amonia, total fosfat, nitrat, dan pH. Hasil analisis dibandingkan dengan baku mutu air laut sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Suhu perairan tercatat antara 29,8 °C hingga 31,1°C, kecerahan bervariasi antara 1,5 hingga 4,25 meter. Rentang oksigen terlarut di perairan tersebut adalah 4,5–6,8 ppm dan rata-rata salinitas berkisar antara 28,6 hingga 31,3 ppt. Parameter pH berada dalam rentang 8,22 –8,54. Namun, konsentrasi amonia, fosfat total, dan nitrat melebihi baku mutu air laut, yaitu amonia sebesar 1,60–4,57 mg/L, fosfat total 2,51– 5,19 mg/L, dan nitrat 1–2,03 mg/L. Status mutu air perairan Pulau Pelapis, yang dianalisis menggunakan metode indeks pencemaran, menunjukkan kategori pencemaran sedang. Oleh karena itu, perencanaan dan penanganan yang tepat diperlukan untuk menjaga kualitas air laut di Pulau Pelapis dalam rangka mendukung produktivitas masyarakat dan melindungi ekosistem.

Kata kunci: Baku Mutu Air Laut; Pulau Pelapis; Inverse Distance Weighting; Indeks Pencemaran.

Assessment of Seawater Quality and Pollution Index in Pelapis Island West Kalimantan

ABSTRACT: Water quality plays an important role in supporting the survival of biota in marine waters and the productivity of coastal communities, so it is important to assess current pollution levels. One of the coastal areas that has the potential to increase productivity in the fisheries sector and marine tourism is Pelapis Island, West Kalimantan. As a first step, a study was conducted to determine the value of the pollution index and water quality in the waters of Pelapis Island based on the physicochemical parameters of water and compile a distribution map using ArcGIS and the inverse distance weighting (IDW) method. Seawater samples were taken at twelve research stations, and the parameters analyzed included temperature, brightness, dissolved oxygen, salinity, ammonia, total phosphate, nitrate, and pH. The analysis results were compared with the seawater quality standards of Government Regulation Number 22 of 2021. Water temperature was recorded between 29.8°C and 31.1°C; brightness varied between 1.5 to 4.25 meters. The dissolved oxygen in the waters was 4.5 - 6.8 ppm, and the average salinity ranged from 28.6 to 31.3 ppt. The pH parameter was within the range of 8.22 - 8.54. However, the concentrations of ammonia, total phosphate, and nitrate exceeded the seawater quality standards, namely ammonia of 1.60 - 4.57 mg/L, total phosphate of 2.51 - 5.19 mg/L, and nitrate of 1 - 2.03 mg/L. The water quality status of Pelapis Island waters, analyzed using the pollution index method, showed a moderate pollution category. Therefore, proper planning and handling are needed to maintain seawater quality on Pelapis Island to support community productivity and protect the ecosystem.

Keywords: Seawater Quality Standard; Pelapis Island; Inverse Distance Weighting; Pollution Index

PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara maritim karena lebih dari 70% wilayah terdiri atas perairan, dengan lautan yang kaya sumber daya berkat posisi geografisnya yang dikelilingi oleh Samudra Pasifik dan Hindia. Berbagai jenis keanekaragaman hayati maritim Indonesia, seperti biota laut, terumbu karang, padang lamun, hutan mangrove, tersebar di seluruh Indonesia, termasuk Kalimantan Barat yang secara khusus memiliki biodiversitas maritim yang melimpah (Napitupulu *et al.*, 2022). Pulau Pelapis, bagian dari Kepulauan Karimata, terletak di Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat, merupakan daerah pesisir yang memiliki pertumbuhan penduduk yang pesat. Data BPS menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kabupaten Kayong Utara pada tahun 2024 mencapai 127,35 ribu jiwa, dengan rata-rata laju pertumbuhan dalam lima tahun terakhir sekitar 0,21%. Untuk wilayah Kepulauan Karimata, yang mencakup Pulau Pelapis, tercatat laju pertumbuhan relatif lebih tinggi yaitu 1,67% per tahun di Semester II Tahun 2024 (*Buku Profil Perkembangan Kependudukan Kabupaten Kayong Utara 2024*, 2024). Hal ini berpotensi meningkatkan pencemaran laut dari limbah sisa kegiatan tersebut. Peningkatan polusi dapat menurunkan kualitas fisik, kimia, dan biologi perairan Pulau Pelapis, mengancam keanekaragaman hayati dan kehidupan laut. Di Pulau Pelapis, bagian utara pantai pulau ini telah mengalami pertumbuhan masyarakat yang paling pesat. Hal ini disebabkan oleh kondisi geografis wilayah tersebut yang relatif datar dibandingkan dengan bagian tengah pulau yang berbukit dan bergunung dengan kemiringan lereng antara 15% hingga 45%. Akibatnya, pemukiman lebih banyak berkembang di sepanjang pesisir Pulau Pelapis (Prabawa *et al.*, 2018). Penurunan kualitas fisik, kimia, dan biologi air laut dapat terjadi akibat banyaknya komponen anorganik dan organik yang masuk ke laut (Hamuna *et al.*, 2018).

Adanya pencemaran yang dapat menurunkan kuantitas dan kualitas sumber daya kelautan dan pesisir, dapat berdampak pada produktivitas dan daya dukung sumber daya perairan. Selain itu, dapat juga mengakibatkan terkurasnya sumber daya alam (Wahyuningsih *et al.*, 2021). Unsur fisika dan kimia yang memengaruhi kualitas air antara lain suhu, kecerahan, pH, salinitas, oksigen terlarut (*dissolved oxygen*, DO), amonia, fosfat, dan nitrat. Tingginya nilai amonia, fosfat, dan nitrat dapat mengindikasikan pencemaran, yang dapat mengurangi kandungan oksigen dalam air, menurunkan keanekaragaman hayati, dan membahayakan kehidupan laut, termasuk menyebabkan eutrofikasi yang memicu pertumbuhan fitoplankton secara berlebihan (Hamuna *et al.*, 2018). Studi serupa juga dilakukan di Teluk Manado, Sulawesi Utara, yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar nitrat dan fosfat akibat aktivitas antropogenik berdampak pada penurunan oksigen terlarut dan gangguan terhadap ekosistem terumbu karang (Patty *et al.*, 2019). Selain itu, penelitian di Distrik Depapre, Jayapura, juga mengungkapkan bahwa konsentrasi amonia dan fosfat yang melebihi baku mutu menyebabkan perairan masuk dalam kategori tercemar sedang hingga berat (Hamuna *et al.*, 2018). Di Lampung Bay, nilai nitrat dan fosfat juga melebihi baku mutu, dan metode Pollution Index merepresentasikan kategori pencemaran sedang hingga berat (Barokah *et al.*, 2017). Sedangkan di Desa Lontar, Banten, ditemukan nitrat dan fosfat pada tingkat yang melampaui baku mutu nasional memperjelas tren pencemaran di perairan pesisir Jawa Barat (Surya *et al.*, 2024). Temuan-temuan ini menegaskan pentingnya pemantauan dan pengelolaan parameter kualitas air laut secara berkala di berbagai wilayah pesisir Indonesia.

Salah satu metode untuk mengendalikan pencemaran adalah dengan melakukan pemantauan kualitas perairan, karena pencemaran merupakan isu utama di daerah pesisir dan laut. Pemantauan ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat pencemaran di suatu lokasi. Analisis karakteristik fisik dan kimia perairan di Pulau Pelapis pernah dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap pertumbuhan karang seperti suhu, pH, DO, kecerahan, dan total padatan tersuspensi (TSS) (Siregar *et al.*, 2023). Kondisi perairan tersebut masih memenuhi kriteria mutu. Namun, belum ada analisis parameter fisika-kimia untuk mengetahui status mutu air, seperti perhitungan indeks pencemaran, untuk menentukan besarnya pencemaran di Pulau Pelapis tersebut. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman baru mengenai kualitas air laut di Pulau Pelapis.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2023 di perairan sekitar Pulau Pelapis, Kepulauan

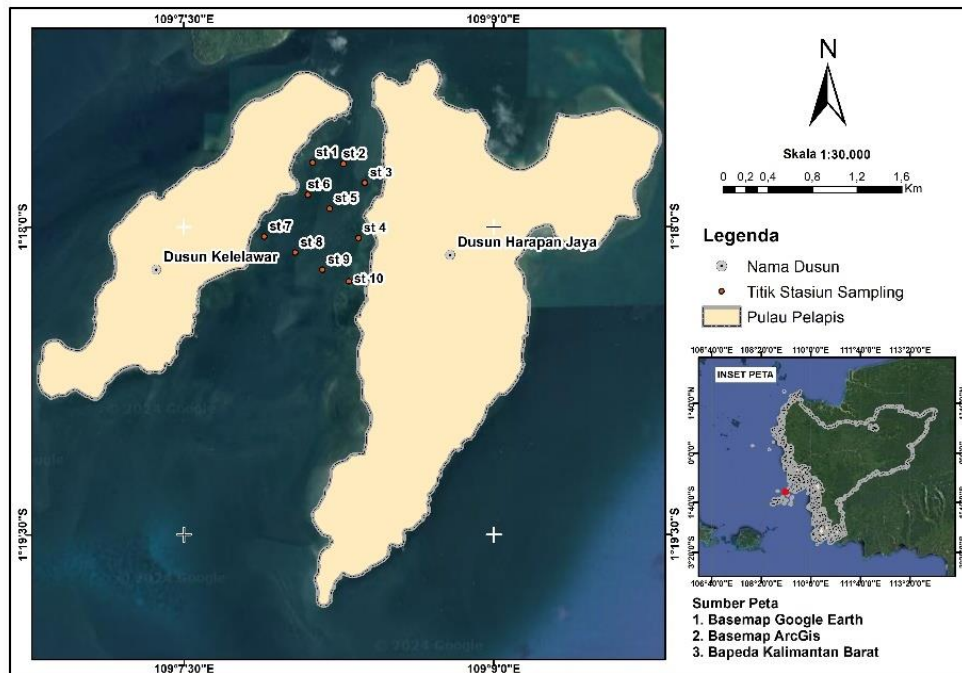
Karimata, Kabupaten Kayong Utara, Provinsi Kalimantan Barat, yaitu di Dusun Kelelawar dan Dusun Harapan Jaya. Penelitian ini menggunakan metode purposive sampling digunakan untuk menentukan titik pengambilan sampel di sepuluh lokasi penelitian. Instrumen yang digunakan cakram Secchi untuk mengukur kecerahan, *hand refractometer* untuk mengukur salinitas, dan *water quality checker* (WQC) untuk parameter suhu, pH, dan oksigen terlarut (DO). Pengukuran *in situ* dilakukan langsung di lokasi untuk memperoleh data kondisi lingkungan perairan saat itu. Selanjutnya, sampel air laut dikirim ke Laboratorium Pertanian Universitas Tanjungpura untuk analisis lanjutan untuk menentukan konsentrasi amonia (NH_3), total fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), dan nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$). Gambar 1 menunjukkan peta lokasi penelitian dengan titik pengambilan sampel.

Analisis kadar nitrat, fosfat, dan amonia dalam sampel air laut dilakukan menggunakan metode spektrofotometer, dengan menggunakan reagen nitrat dan fosfat, serta pereaksi Nessler untuk pengujian kadar amonia. Tabel 1. memberikan informasi spesifik tentang kriteria dan teknik analisis yang terkait dengan kualitas air.

Tabel 1. Parameter dan Metode Analisis Kualitas Air

Parameter	Satuan	Alat ukur
Fisika		
Suhu *	°C	WQC
Kecerahan*	m	Secchi disk
Kimia		
pH*	-	WQC
Salinitas*	mg/L	Hand refractometer
DO*	mg/L	WQC
Fosfat**	mg/L	Spektrofotometer
Amonia**	mg/L	Spektrofotometer
Nitrat**	mg/L	Spektrofotometer

*Dilakukan secara langsung dilapangan; **Laboratorium



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan pengumpulan data lapangan dilakukan dengan pengukuran langsung (*in situ*) terhadap parameter kualitas air di lokasi penelitian, seperti suhu, kecerahan, pH, salinitas, dan oksigen terlarut (DO). Pengukuran suhu, pH, dan DO dilakukan menggunakan alat *water quality checker* (WQC), sementara salinitas diukur dengan *hand refractometer*, dan kecerahan diukur menggunakan Secchi disk. Sampel air diambil dari 10 titik stasiun di perairan Pulau Pelapis, Kabupaten Kayong Utara, Kalimantan Barat, menggunakan ember dan dimasukkan ke dalam botol sampel yang diberi label. Sampel air ini kemudian disimpan dalam *coolbox* dengan *ice gel pack* dan es batu untuk menjaga suhu. Selanjutnya, sampel air dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Analisis data meliputi penghitungan kecerahan air menggunakan persamaan yang telah ditetapkan, serta penggunaan Indeks Pencemaran (IP) untuk menilai pencemaran air berdasarkan parameter kualitas air. Indeks Pencemaran (IP) dihitung dengan membandingkan konsentrasi parameter air dengan standar mutu yang ditetapkan sebagaimana diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 sebagai dasar penentuan status perairan (Tabel 2) (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, 2003; Nemerow, 1991). Rumus indeks= pencemaran:

$$IP = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)^2}{2}}$$

Keterangan: IP_j = Indeks pencemaran bagi peruntukan j ; C_i = Konsentrasi parameter i (hasil pengukuran); L_{ij} = Baku mutu parameter i bagi peruntukan j ; M = Maksimum; R = Rata - rata

Dalam penelitian ini, dilakukan visualisasi rona lingkungan dengan menggunakan perangkat lunak *Geographic Information System* (GIS) seperti Quantum GIS dan ArcGIS. Pemetaan dilakukan untuk mengetahui penyebaran konsentrasi fosfat, nitrat, dan amonia di perairan Pulau Pelapis, Kabupaten Kayong Utara. Aplikasi ArcGIS digunakan dalam proses pemetaan dengan langkah-langkah pemasukan data, pemrosesan data, dan penyajian data. Metode interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighted*) digunakan dalam ArcGIS untuk menentukan konsentrasi fosfat, nitrat, dan amonia dengan mempertimbangkan jarak spasial antara titik-titik data. Hasil pemetaan ini ditampilkan dalam peta digital dan peta fisik yang mencakup data tabular terkait. Metode IDW sangat sesuai untuk data dengan korelasi spasial yang dapat ditentukan berdasarkan jarak dan orientasi data (Khouni *et al.*, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter fisika-kimia sampel air laut dari setiap stasiun dibandingkan dengan persyaratan mutu air laut sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan dan Perlindungan Lingkungan Hidup (Indonesia, 2021). Tabel 3 menunjukkan nilai rata-rata dari setiap parameter fisika-kimia di Perairan Pulau Pelapis, Kabupaten Kayong Utara, Provinsi Kalimantan Barat.

Tabel 4 menampilkan standar baku mutu air laut yang ditetapkan berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021. Peraturan ini mencakup berbagai parameter yang harus dipatuhi untuk menjaga kualitas air laut agar tetap bersih dan tidak mencemari ekosistem laut. Parameter yang diatur meliputi konsentrasi zat-zat tertentu, seperti logam berat, bahan organik, dan senyawa kimia lainnya, yang dapat berdampak pada kesehatan biota laut serta manusia yang mengonsumsi produk laut.

Tabel 2. Penentuan Status Perairan (KLH No. 115 Tahun 2003)

Nilai Indeks Kualitas Air	Kategori
$0 \leq IP \leq 1.0$	Memenuhi baku mutu (kondisi baik)
$1.0 < IP \leq 5.0$	Tercemar ringan
$5.0 < IP \leq 10$	Tercemar sedang
$IP > 10$	Tercemar berat

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa parameter seperti amonia, fosfat, dan nitrat telah melampaui ambang batas baku mutu pada hampir semua stasiun, terutama pada stasiun 1, 2, dan 6. Konsentrasi amonia yang tinggi (hingga 4,57 mg/L), serta fosfat dan nitrat yang melebihi ambang batas, berpotensi menyebabkan eutrofikasi dan penurunan oksigen terlarut. Dampak dari pencemaran ini secara langsung mengancam keberlangsungan ekosistem lokal, khususnya terumbu karang dan ikan karang seperti *Lutjanus* spp. (ikan kakap), *Siganus* spp. (ikan baronang), dan *Epinephelus* spp. (ikan kerapu) yang banyak ditemukan dan dibudidayakan di sekitar perairan Pulau Pelapis. Terumbu karang, yang sangat sensitif terhadap perubahan kualitas air, dapat mengalami pemutihan (coral bleaching) jika terjadi stres akibat peningkatan nutrisi dan penurunan DO (Lesser, 2021). Studi sebelumnya juga mengindikasikan bahwa ekosistem terumbu karang di Pulau Pelapis mengalami tekanan ekologis akibat perubahan kualitas lingkungan perairan (Siregar *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pencemaran sedang yang terdeteksi tidak hanya berdampak pada parameter fisikokimia, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap keseimbangan ekologis dan produktivitas hayati perairan setempat.

Tabel 3. Data kualitas perairan rata-rata di Perairan Pulau Pelapis

Stasiun	Suhu (°C)	Kecerahan (m)	DO (mg/L)	Salinitas (ppt)	Amonia (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Nitrat (mg/L)	pH (mg/L)
St 1	29,86	3,08	4,86	28,66	4,57	3,47	1,16	8,24
St 2	30,16	3,25	5,43	29,00	4,04	5,16	2,03	8,22
St 3	30,66	2,75	4,53	30,00	1,60	2,51	1,76	8,31
St 4	30,73	3,08	5,20	30,33	2,86	4,11	1,00	8,32
St 5	30,33	2,75	4,83	30,33	2,83	4,86	1,80	8,20
St 6	30,76	3,25	5,56	30,66	3,87	5,19	2,00	8,32
St 7	30,56	1,91	7,46	30,66	2,20	2,66	1,83	8,54
St 8	30,93	4,08	4,86	29,66	2,49	3,63	2,00	8,44
St 9	29,93	3,25	4,90	30,66	2,98	3,14	1,60	8,43
St 10	30,70	1,66	6,83	31,33	4,07	3,87	1,93	8,49

Tabel 4. Baku mutu air laut (Peraturan pemerintah No.22 Tahun 2021)

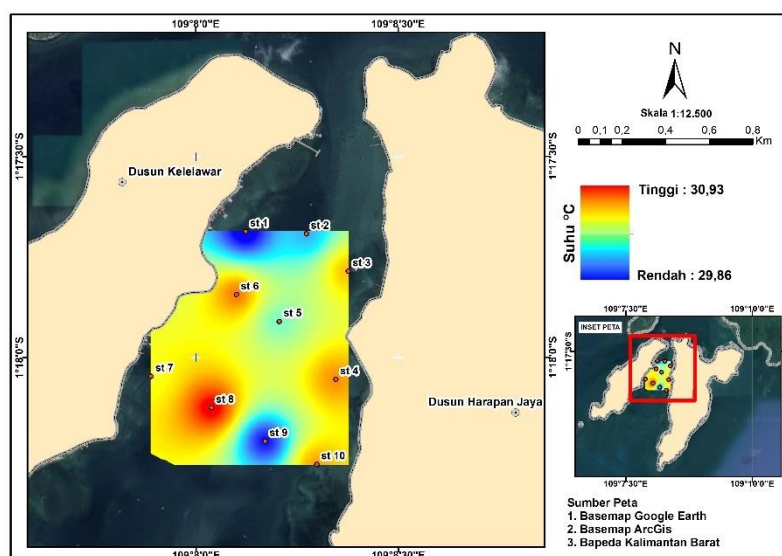
Parameter	Satuan	Biota laut	Pelabuhan	Wisata Bahari
Suhu	°C	Alami	Alami	Alami
		Coral: 28-30		
		Mangrove : 28-32		
		Lamun:28-30		
Kecerahan	m	Coral: >5	>3	>6
		Mangrove : -		
		Lamun: >3		
Oksigen terlarut	mg/L	>5	-	>5
Salinitas	‰	Alami	Alami	Alami
		Coral: 33-34		
		Mangrove: s/d 34		
		Lamun: 33-34		
Amonia	mg/L	0,3	0,3	0,02
Fosfat	mg/L	0,015	—	0,015
Nitrat	mg/L	0,06	—	0,06
pH	—	7-8,5	6,5-8,5	7-8,5

Peta distribusi suhu di berbagai stasiun pengamatan ditunjukkan pada Gambar 2. Pada peta ini, suhu bervariasi di setiap lokasi pengamatan. Titik-titik pada peta menunjukkan lokasi stasiun-stasiun tersebut, dengan warna yang berbeda untuk menggambarkan variasi suhu yang tercatat. Di stasiun 1, 2, 5, dan 9, nilai suhu berkisar antara 29,5 hingga 30 °C, sementara di stasiun 3, 4, 6, 7, 8, dan 10, suhu berkisar antara 30,5 hingga 31 °C.

Perairan tropis, seperti di Indonesia, memiliki suhu yang ideal untuk kehidupan biota laut tropis, dengan kisaran suhu umumnya antara 27 hingga 32°C (Putra dan Husrin, 2017). Di perairan Pulau Pelapis, suhu permukaan air berkisar antara 29,8 °C hingga 31,1 °C, yang masih dalam rentang nilai alami yang diperbolehkan untuk kelangsungan hidup biota laut. Rentang suhu ini sesuai dengan kondisi umum suhu air laut di Indonesia, yang biasanya berkisar antara 28 hingga 31 °C. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa suhu air di Pulau Pelapis sejalan dengan karakteristik perairan tropis, menegaskan stabilitas kondisi suhu yang mendukung kehidupan biota laut (Yunita & Zikra, 2017). Variasi suhu dalam rentang 27 hingga 32°C dianggap wajar untuk lingkungan perairan tropis, dan suhu air laut memiliki toleransi yang luas terhadap pertumbuhan terumbu karang dan kehidupan biota laut secara umum (Nurrahman & Faizal, 2020). Rentang suhu ini mendukung pertumbuhan terumbu karang yang optimal dan kehidupan beragam di perairan Pulau Pelapis. Peta sebaran suhu permukaan air laut dapat memberikan gambaran visual tentang distribusi suhu di wilayah tersebut dan membantu memahami kondisi termal perairan serta dampaknya terhadap kehidupan biota laut.

Gambar 3 menyajikan peta distribusi kecerahan di Perairan Pulau Pelapis, dengan skala warna yang mengilustrasikan variasi kecerahan pada setiap stasiun pengamatan. Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan kecerahan dalam meter (m), dengan rentang dari 1 hingga 4. Warna kuning menandakan area dengan kecerahan tertinggi, sedangkan warna biru menunjukkan area dengan kecerahan terendah. Pada peta ini, Stasiun 8 (st 8) terletak di area dengan kecerahan tertinggi, yang ditandai dengan warna kuning. Sementara itu, Stasiun 7 (st 7) dan Stasiun 10 (st 10) berada di area dengan kecerahan terendah, yang ditandai dengan warna biru. Stasiun-stasiun lainnya menunjukkan variasi kecerahan yang berbeda, dengan warna yang bervariasi antara oranye hingga ungu.

Rendahnya tingkat kecerahan dipengaruhi konsentrasi sedimen dan kedalaman perairan itu sendiri. Kecerahan air laut di perairan Pulau Pelapis bervariasi antara 1,5 hingga 4,25 meter, dengan rata-rata kecerahan sebesar 2,9 meter. Faktor-faktor seperti sedimen, plankton, dan bahan organik terlarut mempengaruhi tingkat kekeruhan air (Sahoo & Anandhi, 2023). Kecerahan air sangat penting karena memengaruhi fotosintesis fitoplankton dan distribusi organisme laut. Kecerahan rendah dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton dan organisme laut yang membutuhkan cahaya



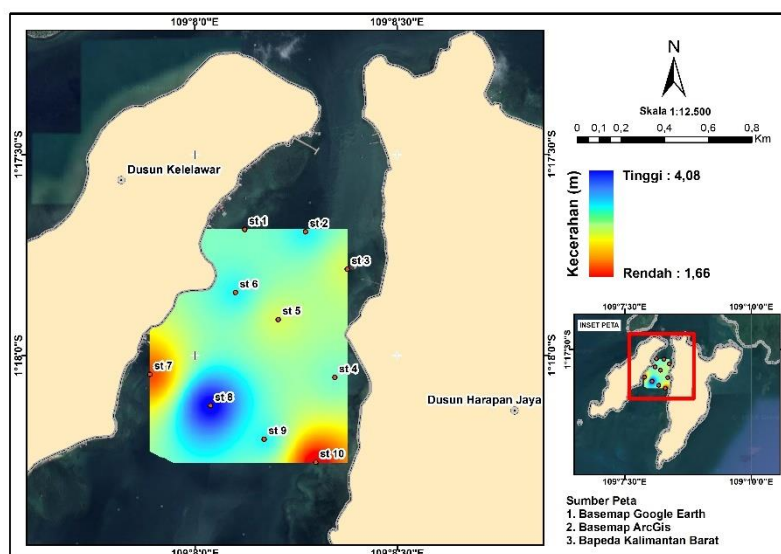
Gambar 2. Peta sebaran suhu pada tiap stasiun pengamatan

(Bilotta & Brazier, 2008). Aktivitas pelayaran dan pelabuhan berkontribusi pada kekeruhan air dengan masuknya sedimen dan bahan organik. Kekeruhan air juga menghambat penetrasi cahaya, menghasilkan kecerahan yang rendah (Patty *et al.*, 2019).

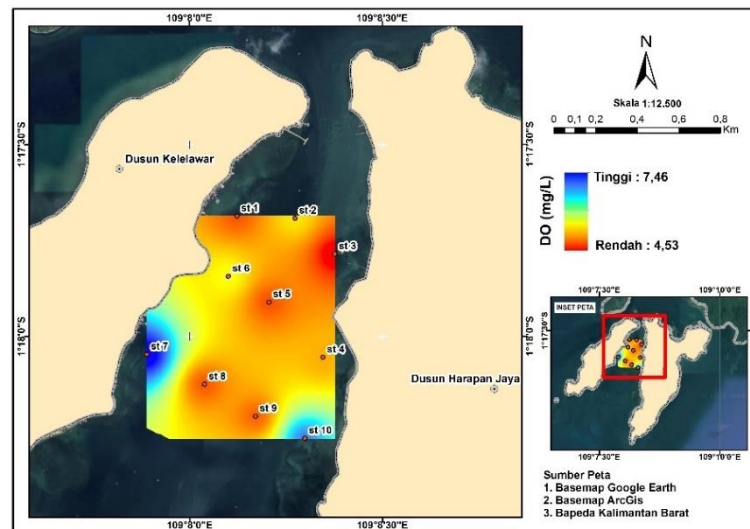
Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, nilai kecerahan perairan laut di Pulau Pelapis tidak memenuhi ambang batas kebutuhan biota laut seperti ikan dan spesies lainnya. Ini disebabkan oleh nilai kecerahan minimal lebih dari 5 meter untuk ekosistem terumbu karang. Kecerdahan dan kekeruhan air laut memiliki dampak signifikan terhadap pertumbuhan biota laut, serta proses fotosintesis mereka (Hamuna *et al.*, 2018). Kecerdahan air yang rendah mengurangi kemampuan cahaya untuk menembus ke dalam air, menghambat fitoplankton dalam melakukan fotosintesis, dan berpotensi mempengaruhi rantai makanan di ekosistem laut (Capuzzo *et al.*, 2015). Meskipun nilai kecerahan di perairan Pulau Pelapis tidak memenuhi standar, tetapi nilai tersebut masih berada dalam rentang yang umum ditemukan di perairan tropis (Bilotta & Brazier, 2008). Namun, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan kualitas air dan kecerahan di perairan Pulau Pelapis agar dapat mendukung kehidupan biota laut secara optimal. Upaya tersebut dapat meliputi pengendalian erosi dan sedimentasi, pengelolaan limbah, dan upaya konservasi terumbu karang (Dharmawan *et al.*, 2023; Watt-Pringle *et al.*, 2024).

Gambar 4. menunjukkan peta yang menggambarkan distribusi oksigen terlarut (DO) di Perairan Pulau Pelapis yang telah diamati, menggunakan skala warna untuk menunjukkan variasi oksigen terlarut di setiap stasiun pengamatan. Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan kadar oksigen terlarut dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 4,5 hingga 7,5. Warna ungu menandakan area dengan kadar oksigen terlarut tertinggi, sedangkan warna hijau menunjukkan area dengan kadar oksigen terlarut terendah. Pada peta ini, Stasiun 7 (st 7) terletak di area dengan kadar oksigen terlarut tertinggi, yang ditandai dengan warna ungu. Sementara itu, Stasiun 3 (st 3) berada di area dengan kadar oksigen terlarut terendah, yang ditandai dengan warna hijau. Stasiun-stasiun lainnya menunjukkan variasi kadar oksigen terlarut yang berbeda, dengan warna yang bervariasi antara hijau hingga ungu.

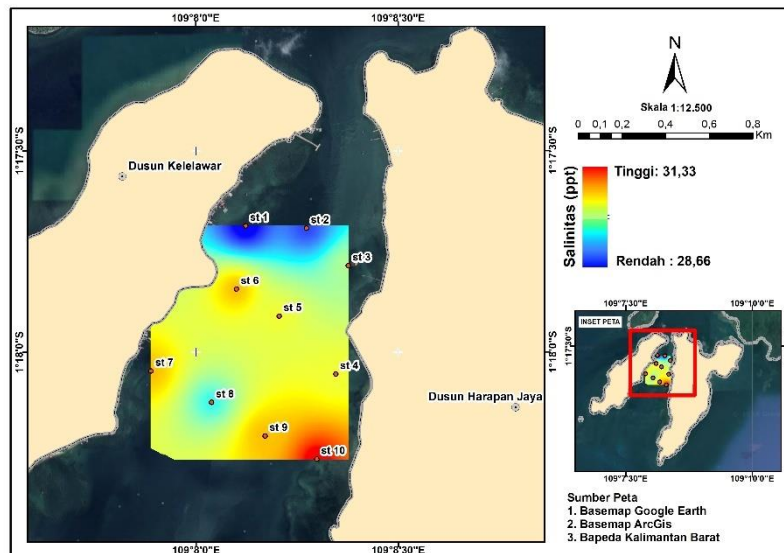
Konsentrasi oksigen terlarut (DO) dalam air laut biasanya berkisar antara 6 hingga 14 ppm. Menurut PP No. 22 Tahun 2021, nilai DO di permukaan air laut dianggap tercemar ringan jika kurang dari 5 mg/l, dan tercemar berat jika kurang dari 2,0 mg/l. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kadar DO di permukaan perairan Pulau Pelapis berkisar antara 4,5 hingga 6,8 ppm, masih mencukupi untuk mendukung kehidupan biota laut. Namun, kadar DO di perairan ini tergolong tercemar ringan, yaitu antara 4,5 - 6,4 ppm (Andara *et al.*, 2014).



Gambar 3. Peta sebaran kecerahan pada tiap stasiun pengamatan



Gambar 4. Peta sebaran DO pada tiap stasiun pengamatan



Gambar 5. Peta sebaran salinitas pada tiap stasiun pengamatan

Penurunan kadar DO di perairan dekat pantai diduga disebabkan oleh tingginya kekeruhan air dan aktivitas mikroorganisme yang intens dalam menguraikan zat organik menjadi bahan anorganik. Proses penguraian ini memerlukan oksigen terlarut, sehingga peningkatan limbah organik dalam air dapat mengurangi ketersediaan oksigen terlarut (Q. Chen *et al.*, 2025). Dengan demikian, peningkatan jumlah limbah organik dapat mengurangi jumlah oksigen terlarut yang tersedia di perairan tersebut.

Skala warna digunakan pada peta distribusi salinitas di Perairan Pulau Pelapis untuk menggambarkan variasi salinitas di setiap stasiun pengamatan (Gambar 5). Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan salinitas dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 4,5 hingga 7,5. Warna ungu menandakan area dengan salinitas tertinggi, sedangkan warna hijau menunjukkan area dengan salinitas terendah. Pada peta ini, Stasiun 7 (st 7) terletak di area dengan salinitas tertinggi, ditandai dengan warna ungu, sementara Stasiun 3 (st 3) berada di area dengan salinitas terendah, yang ditandai dengan warna hijau. Stasiun-stasiun lainnya menunjukkan variasi salinitas yang berbeda, dengan warna yang bervariasi antara hijau hingga ungu.

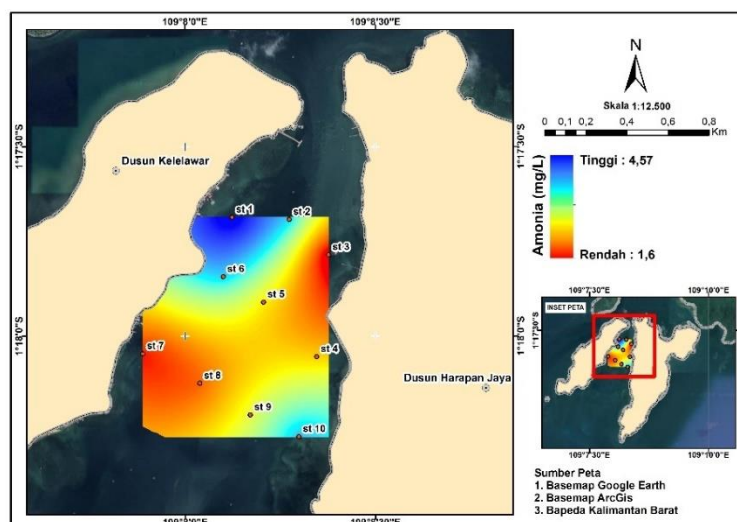
Salinitas perairan di sekitar Pulau Pelapis bervariasi antara 28,6 hingga 31,3 ppt, menunjukkan karakteristik air payau akibat pengaruh daratan dan aliran air tawar. Variasi salinitas dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti musim, pasang surut, dan aliran air tawar, seperti yang telah dikemukakan dalam penelitian sebelumnya (Hikmah, 2018; Patty *et al.*, 2019).

Meskipun menunjukkan karakteristik air payau, salinitas perairan Pulau Pelapis tetap berada dalam rentang standar kualitas air laut yang ditetapkan untuk biota laut (28,6 hingga 31,3 ppt), sesuai dengan ketentuan PP No. 22 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi salinitas di perairan tersebut masih memadai untuk mendukung kehidupan biota laut. Standar baku mutu air laut umumnya mencakup kisaran 33-34 ppt dengan toleransi variasi kurang dari 5%. Oleh karena itu, salinitas di perairan Pulau Pelapis masih berada dalam kondisi normal sesuai dengan standar yang berlaku.

Peta distribusi amonia menggambarkan variasi amonia di setiap stasiun pengamatan (Gambar 6). Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan amonia dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 1 hingga 4. Warna orange menunjukkan area dengan amonia tertinggi, sementara warna kuning menunjukkan area dengan amonia terendah. Pada peta ini, terlihat bahwa Stasiun 7, 8, 9, 10 berada di area dengan amonia tertinggi, ditandai dengan warna orange. Stasiun 1 berada di area dengan amonia terendah, ditandai dengan warna kuning. Stasiun-stasiun lainnya memiliki variasi kecerahan yang berbeda-beda, dengan warna yang berkisar antara orange dan kuning.

Kehadiran bahan kimia berbahaya dan toksik dalam limbah dapat berdampak negatif pada lingkungan (Bonnin *et al.*, 2008). Amonia sering ditemukan dalam limbah dan konsentrasinya dapat bervariasi dengan cepat dalam air laut. Kehadiran amonia dapat mengindikasikan proses dekomposisi bahan organik, terutama protein. Data pengukuran kadar amonia di permukaan air laut di Perairan Pulau Pelapis stasiun 1-10 (1,60 hingga 4,57 mg/l) melebihi standar baku mutu (0,3 mg/l) untuk biota laut sesuai PP No. 22 Tahun 2021. Hal ini menunjukkan pencemaran amonia yang berasal terutama dari limbah domestik, seperti urin manusia dan hewan, yang dibuang ke perairan oleh pemukiman penduduk di sekitar pesisir. Limbah domestik mengandung bahan organik yang mudah terurai, termasuk senyawa nitrogen seperti protein dan urea, yang menghasilkan amonia saat terdekomposisi oleh mikroorganisme. Selain itu, amonia juga dapat dihasilkan secara alami melalui proses metabolisme hewan dan dekomposisi bahan organik oleh bakteri. Keberadaan konsentrasi amonia yang tinggi mengancam kehidupan biota laut dan membutuhkan tindakan segera untuk mengatasi pencemaran ini (Zhou *et al.*, 2023).

Kehadiran konsentrasi amonia yang tinggi di perairan mengindikasikan adanya pencemaran bahan organik yang berasal dari limbah domestik dan proses alami dekomposisi. Amonia merupakan salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas air, karena tingkatnya dapat



Gambar 6. Peta sebaran amonia tiap stasiun pengamatan

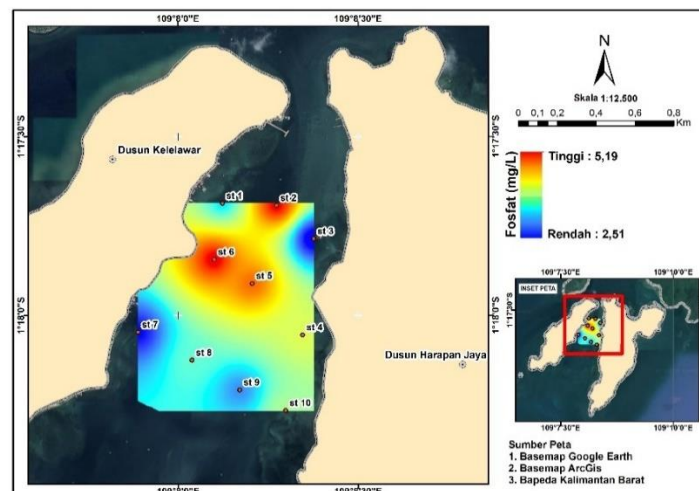
memberikan informasi tentang tingkat pencemaran dan kondisi keseimbangan ekosistem perairan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai sumber-sumber amonia dan faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasinya penting dalam upaya pengelolaan perairan yang berkelanjutan.

Distribusi total fosfat di setiap stasiun pengamatan digambarkan pada peta di bawah ini, seperti yang terlihat pada Gambar 7. Peta ini menggambarkan distribusi fosfat di Perairan Pulau Pelapis yang diamati, dengan menggunakan skala warna untuk menunjukkan variasi fosfat di setiap stasiun pengamatan. Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan fosfat dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 2,5 hingga 5,2. Warna biru menunjukkan area dengan fosfat tertinggi, sementara warna hijau menunjukkan area dengan fosfat terendah. Pada peta ini, terlihat bahwa Stasiun 2 dan 6 berada di area dengan fosfat tertinggi, ditandai dengan warna biru. Stasiun 3 dan 7 berada di area dengan amonia terendah, ditandai dengan warna hijau. Stasiun-stasiun lainnya memiliki variasi kecerahan yang berbeda-beda, dengan warna yang berkisar antara biru dan hijau.

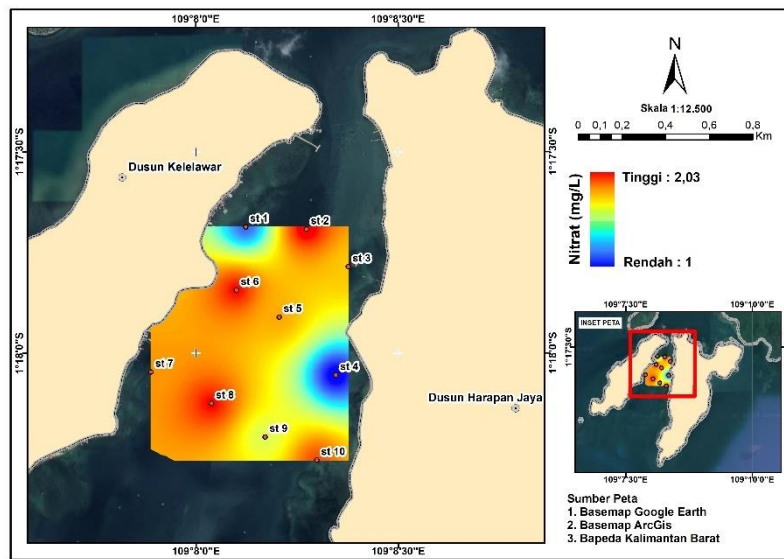
Konsentrasi fosfat di perairan Pulau Pelapis melebihi standar baku mutu air laut (0,015 mg/l) yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021. Tingginya konsentrasi fosfat disebabkan oleh faktor alami dan aktivitas manusia, seperti sumber fosfat dari tanah dekat pantai, pembuangan limbah domestik, dan budidaya keramba apung. Sumber alami seperti pelapukan tanah, limbah organisme, dan pelapukan tumbuhan juga berkontribusi (Badamasi *et al.*, 2019). Konsentrasi fosfat yang tinggi dapat berdampak negatif pada organisme laut, termasuk potensi eutrofikasi dan kerusakan ekosistem laut.

Pada Gambar 8, distribusi nitrat di setiap lokasi pengamatan digambarkan dengan menggunakan skala warna untuk menunjukkan variasi nitrat di setiap stasiun pengamatan. Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan nitrat dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 1 hingga 2. Warna hijau menunjukkan area dengan nitrat tertinggi, sementara warna merah muda menunjukkan area dengan nitrat terendah. Pada peta ini, terlihat bahwa Stasiun 2, 6 dan 8 berada di area dengan nitrat tertinggi, ditandai dengan warna hijau. Stasiun 1 dan 4 berada di area dengan amonia terendah, ditandai dengan warna merah muda. Stasiun-stasiun lainnya memiliki variasi kecerahan yang berbeda-beda, dengan warna yang berkisar antara orange dan kuning.

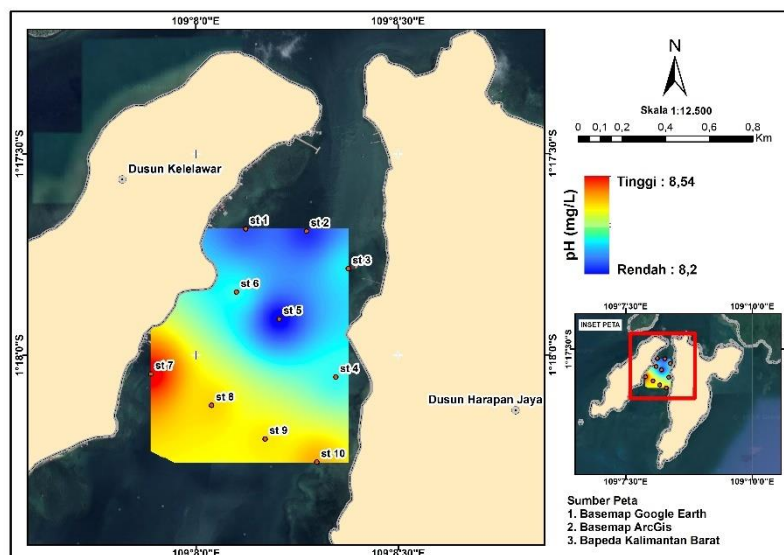
Konsentrasi nitrat di perairan Pulau Pelapis melebihi standar mutu (0,06 mg/l) yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Tingginya kandungan nitrat dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga yang berlebihan (Yusal *et al.*, 2025). Penyebab utama tingginya konsentrasi nitrat adalah masukan bahan organik dari aktivitas daratan, seperti limbah rumah tangga dan kegiatan budidaya keramba apung. Pertumbuhan alga yang berlebihan dapat mengurangi kualitas air dan menyebabkan masalah bagi organisme lainnya. Selain itu, dekomposisi alga juga dapat mengurangi oksigen terlarut di perairan, berpotensi merugikan organisme yang membutuhkan oksigen.



Gambar 7. Peta sebaran fosfat total tiap stasiun pengamatan



Gambar 8. Peta sebaran nitrat tiap stasiun pengamatan



Gambar 9. Peta sebaran pH tiap stasiun pengamatan

Pada Gambar 9, distribusi pH di Perairan Pulau Pelapis menunjukkan variasi pH di setiap stasiun pengamatan. Skala warna di sisi kanan peta menunjukkan pH dalam miligram/liter (mg/l), dengan rentang dari 8,2 hingga 8,5. Warna orange menunjukkan area dengan pH tertinggi, sementara warna hijau menunjukkan area dengan pH terendah. Pada peta ini, terlihat bahwa Stasiun 7 berada di area dengan pH tertinggi, ditandai dengan warna orange. Stasiun 2 dan 5 berada di area dengan pH terendah, ditandai dengan warna hijau. Stasiun-stasiun lainnya memiliki variasi kecerahan yang berbeda-beda, dengan warna yang berkisar antara kuning dan hijau.

pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan, dihitung sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen. pH perairan merupakan indikator penting untuk mengevaluasi kondisi perairan dan keseimbangan asam-basa (Hamuna *et al.*, 2018). Variasi nilai pH dapat berdampak signifikan pada kehidupan biota perairan. pH yang tidak optimal dapat menghambat pertumbuhan, reproduksi, bahkan menyebabkan kematian organisme (dos Santos *et al.*, 2020).

Nilai pH perairan Pulau Pelapis berkisar antara 8,22 hingga 8,54, dengan rata-rata 8,35. Kondisi pH ini mendukung pertumbuhan organisme biota laut, terutama fitoplankton yang berperan penting dalam produktivitas perairan. Rentang pH tersebut memenuhi standar kualitas air laut (PP No. 22 Tahun 2021), yang mengharuskan pH berada dalam rentang 7 hingga 8,5. Oleh karena itu, kondisi pH di perairan Pulau Pelapis masih mendukung kehidupan biota laut.

Pengukuran IP dilakukan pada stasiun 1 sampai dengan 10 di perairan sekitar Pulau Pelapis. Tabel 5 menyajikan data hasil perhitungan indeks pencemaran yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas lingkungan biota laut di perairan Pulau Pelapis. Indeks pencemaran ini penting untuk mengukur tingkat pencemaran yang dialami oleh ekosistem laut di kawasan tersebut, serta untuk menentukan langkah-langkah pengelolaan yang tepat guna menjaga kelestarian lingkungan laut. data hasil perhitungan indeks pencemaran yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas lingkungan pelabuhan di perairan Pulau Pelapis. Indeks pencemaran ini penting untuk mengukur tingkat pencemaran pelabuhan, serta untuk menentukan langkah-langkah pengelolaan yang tepat guna menjaga kelestarian lingkungan laut. data hasil perhitungan indeks pencemaran yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas lingkungan ekowisata bahari di perairan Pulau Pelapis. Indeks pencemaran ini penting untuk mengukur tingkat pencemaran ekowisata bahari di kawasan tersebut, serta untuk menentukan langkah-langkah pengelolaan yang tepat guna menjaga kelestarian lingkungan laut.

Pendekatan indeks pencemaran digunakan untuk mengetahui kondisi kualitas air di perairan sekitar Pulau Pelapis. Pencemaran laut ditandai dengan masuknya makhluk atau komponen ke dalam lingkungan laut yang mengakibatkan penurunan kualitas air (Seygita *et al.*, 2021). Hal ini memengaruhi kesesuaian baku mutu lingkungan maritim untuk menjalankan fungsinya sebaik mungkin.

Batas toleransi tertinggi terhadap keberadaan bahan kimia, energi, dan komponen lain di perairan yang masih dapat diterima dikenal sebagai standar kualitas air. Jika air tidak dapat digunakan sebagaimana mestinya, maka air tersebut dianggap terkontaminasi (Hamuna *et al.*, 2018). Untuk menjamin bahwa perairan dapat mendukung kehidupan biota dan menjalankan peran ekologisnya, pemantauan dan evaluasi kualitas air menjadi hal yang penting.

Hasil pengukuran kualitas perairan di Pulau Pelapis, berdasarkan indeks pencemaran untuk biota laut, menunjukkan bahwa tingkat pencemaran di wilayah tersebut tergolong sedang, dengan indeks pencemaran berkisar antara 8,9 hingga 10. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pada bulan Juni 2023, perairan Pulau Pelapis berada dalam kategori pencemaran sedang. Rincian nilai pencemaran di setiap stasiun pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 2. Parameter seperti suhu, kecerahan, DO, salinitas, dan pH masih memenuhi standar baku mutu air laut yang ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021.

Tabel 5. Nilai perhitungan indeks pencemaran

Stasiun	Biota		Wisata bahari		Pelabuhan	
	IP	Status mutu	IP	Status mutu	IP	Status mutu
1	9,5	++	6,85	+	3,7	+
2	10	++	7,25	+	3,6	+
3	8,9	++	6,45	+	1,85	+
4	9,7	++	6,95	+	3,15	+
5	10	++	7,15	+	3,25	+
6	10	++	7,2	+	3,57	+
7	9,08	++	6,5	+	2,95	+
8	9,5	++	6,85	+	3,05	+
9	9,3	++	6,7	+	3,2	+
10	9,6	++	6,9	+	3,6	+

Note: ++: Tercemar sedang; + : Tercemar ringan

Kondisi pencemaran sedang di perairan Pulau Pelapis diduga disebabkan oleh kedekatannya dengan permukiman penduduk, aktivitas perikanan, serta praktik budidaya keramba apung. Penelitian juga menunjukkan bahwa parameter lingkungan seperti amonia, fosfat, dan nitrat telah melebihi batas standar baku mutu. Situasi ini memerlukan perhatian serius dari pemerintah dan masyarakat, karena amonia, nitrat, dan fosfat total adalah parameter lingkungan yang, pada konsentrasi tertentu, dapat menyebabkan eutrofikasi, yaitu proses pengayaan yang sangat cepat yang dapat membahayakan kehidupan biota laut (Hamuna *et al.*, 2018).

Hasil pengukuran kualitas perairan di Pulau Pelapis, berdasarkan indeks pencemaran untuk pelabuhan, menunjukkan bahwa tingkat pencemaran di wilayah tersebut tergolong ringan, dengan nilai berkisar antara 1,85 hingga 3,7, sesuai dengan PP No. 22 Tahun 2021. Kondisi ini masih dianggap sangat baik untuk operasional pelabuhan. Jika dibandingkan dengan data historis pada lokasi yang sama, terlihat adanya indikasi penurunan kualitas pada beberapa parameter utama. Misalnya, kadar oksigen terlarut yang sebelumnya berada pada kisaran 7,2–7,6 mg/L, kini menurun pada beberapa stasiun hingga mencapai 4,53 mg/L. Penurunan yang lebih signifikan terlihat pada kecerahan perairan, dari sebelumnya 5,0–5,4 meter menjadi hanya 1,5–4,25 meter (Siregar *et al.*, 2023).

Perubahan ini menunjukkan peningkatan kekeruhan dan kemungkinan akumulasi bahan tersuspensi maupun input nutrisi dari aktivitas antropogenik. Penurunan oksigen dan kecerahan berpotensi mengganggu proses fotosintesis organisme laut serta mengindikasikan proses eutrofikasi (Alfionita *et al.*, 2019). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan yang tepat dan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan guna memastikan kelayakan perairan Pulau Pelapis bagi operasional pelabuhan serta menjaga fungsi ekologis wilayah pesisir.

Tujuan penetapan kriteria mutu air laut untuk kegiatan wisata bahari adalah untuk menjamin bahwa air tersebut masih aman dan nyaman untuk berbagai kegiatan wisata, termasuk berenang, menyelam, snorkeling, dan kegiatan rekreasi lainnya. Metrik baku mutu tersebut, sebagaimana dinyatakan dalam PP No. 22 Tahun 2021, mencakup sejumlah faktor penting, seperti suhu, kadar oksigen terlarut, kadar pencemaran kimia, dan kejernihan air. Air laut yang memenuhi standar ini harus memiliki kejernihan yang tinggi untuk memastikan visibilitas yang baik bagi penyelam dan snorkeler, serta harus bebas dari polutan berbahaya yang dapat mengancam kesehatan para wisatawan. Selain itu, suhu air harus berada dalam kisaran yang nyaman untuk aktivitas rekreasi, sementara kadar oksigen terlarut harus cukup tinggi untuk mendukung kehidupan biota laut, yang menjadi daya tarik utama dalam wisata bahari.

Hasil pengukuran kualitas perairan pulau Pelapis berdasarkan indeks pencemaran untuk wisata bahari berkisar antara 6,5 – 7,25 yang dikategorikan tercemar sedang. Pencemaran untuk wisata bahari di perairan Pulau Pelapis diduga disebabkan oleh berbagai faktor seperti limbah domestik, aktivitas nelayan. Selain itu, perubahan iklim juga memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap kualitas air laut. Integritas dan keindahan ekosistem laut, yang menjadi daya tarik utama wisata bahari, bergantung pada pengelolaan yang ketat, tindakan regulasi, pengetahuan masyarakat, dan partisipasi pengunjung. Penerapan dan pengawasan terhadap baku mutu air laut ini sangat penting untuk menjaga keindahan alam bawah laut, melindungi ekosistem laut, serta menjamin keselamatan dan kepuasan para wisatawan yang menikmati keindahan laut Indonesia.

Strategi pengelolaan kualitas air dapat dilakukan melalui pemasangan stasiun pemantauan kualitas air di titik-titik strategis, khususnya di sekitar permukiman dan budidaya keramba apung, untuk mendeteksi pencemaran sejak dini dan mendukung pengambilan kebijakan berbasis data (F. L. Chen *et al.*, 2020). Pengendalian sumber pencemar darat melalui pembangunan IPAL skala komunitas dan perbaikan sistem sanitasi terbukti efektif menurunkan konsentrasi nutrisi seperti amonia dan fosfat (Sharma *et al.*, 2022). Aktivitas budidaya perikanan perlu diatur jaraknya dari zona wisata untuk mencegah akumulasi limbah organik yang dapat menurunkan kejernihan air (Patty *et al.*, 2019). Selain itu, peningkatan kesadaran masyarakat pesisir dan pemangku kepentingan melalui edukasi lingkungan tentang pentingnya menjaga ekosistem laut, mengurangi pencemaran dari aktivitas harian, dan berpartisipasi aktif dalam upaya konservasi dapat memperkuat efektivitas pengelolaan berbasis komunitas (Suparyanto *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, kualitas air laut di Pulau Pelapis yang dievaluasi menggunakan berbagai parameter fisika-kimia, seperti suhu, kecerahan, DO, salinitas, dan pH tergolong baik. Namun, terdapat beberapa parameter seperti amonia, nitrat, dan fosfat yang melebihi baku mutu. Variaasi penyebaran parameter fisika-kimia secara umum merata di setiap stasiun. Hasil analisis tingkat pencemaran perairan Pulau Pelapis, berdasarkan indeks pencemaran, tergolong sebagai pencemaran sedang untuk biota laut. Oleh karena itu, perencanaan dan penanganan yang tepat diperlukan untuk menjaga kualitas air laut di Pulau Pelapis demi mendukung produktivitas masyarakat dan melindungi ekosistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Daerah Kayong Utara yang membiayai penelitian ini dalam program Peningkatan Kualitas Lulusan Mahasiswa Program Beasiswa Pemda Kayong Utara di Universitas OSO tahun 2023 dengan nomor 145/UNOSO/KS/I/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfionita, A.N.A., Patang, P. & Kaseng, E.S. 2019. Effect of eutrophication on water quality in the Jeneberang River. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(1): 9–15.
- Andara, D.R., Haeruddin & Suryanto, A. 2014. Kandungan total padatan tersuspensi, biochemical oxygen demand dan chemical oxygen demand serta indeks pencemaran Sungai Klampisan di kawasan industri Candi, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3): 177–187.
- Badamasi, H., Yaro, M.N., Ibrahim, A. & Bashir, I.A., 2019. Impacts of phosphates on water quality and aquatic life. *Journal of Chemical Research*, 4(3):124-133.
- Barokah, G.R., Ariyani, F. & Siregar, T.H. 2017. Comparison of Storet and pollution index method to assess the environmental pollution status: a case study from Lampung Bay, Indonesia. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 12(2): 67–77. DOI: 10.15578/squalen.v12i2.287
- Bilotta, G.S. & Brazier, R.E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12): 2849–2861. DOI: 10.1016/j.watres.2008.03.018
- Bonnin, E.P., Biddinger, E.J. & Botte, G.G. 2008. Effect of catalyst on electrolysis of ammonia effluents. *Journal of Power Sources*, 182(1): 284–290. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.03.046
- Buku Profil Perkembangan Kependudukan Kabupaten Kayong Utara 2024. 2024. Tersedia di: <https://disdukcapil.kayongutarakab.go.id/uploads/report/buku-profil-perkembangan-kependudukan-tahun-2024-20250327110454.pdf>
- Capuzzo, E., Stephens, D., Silva, T., Barry, J. & Forster, R.M. 2015. Decrease in water clarity of the southern and central North Sea during the 20th century. *Global Change Biology*, 21(6): 2206–2214. DOI: 10.1111/gcb.12854
- Chen, F.L., Yang, B.C., Peng, S.Y. & Lin, T.C. 2020. Applying a deployment strategy and data analysis model for water quality continuous monitoring and management. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(6): 1–15. DOI: 10.1177/1550147720929825
- Chen, Q., Tang, K., Zhai, W., Zhu, Z., Yang, J.Y.T., He, Z., Li, M., Kao, S.J., Yang, J., Zheng, Q., Lønborg, C., Thomas, H. & Jiao, N. 2025. Microbial responses to ocean deoxygenation: revisiting the impacts on organic carbon cycling. *iScience*, 28(7): 1–19. DOI: 10.1016/j.isci.2025.112826
- Dharmawan, I.W.S., Pratiwi, Siregar, C.A., Narendra, B.H., Undaharta, N.K.E., Sitepu, B.S., Sukmana, A., Wiratmoko, M.D.E., Abywijaya, I.K. & Sari, N. 2023. Implementation of soil and water conservation in Indonesia and its impacts on biodiversity, hydrology, soil erosion and microclimate. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(13): 1–21. DOI: 10.3390/app13137648

- dos Santos, J.A., Soares, C.M. & Bialecki, A. 2020. Effects of pH on the incubation and early development of fish species with different reproductive strategies. *Aquatic Toxicology*, 219: 105382. DOI: 10.1016/j.aquatox.2019.105382
- Hamuna, B., Tanjung, R.H.R., Suwito, S., Maury, H.K. & Alianto, A. 2018. Kajian kualitas air laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisika-kimia di perairan distrik Depapre, Jayapura. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 35–43. DOI: 10.14710/jil.16.1.35-43
- Hikmah, R.N. 2018. Status kualitas air laut dan indeks pencemaran di perairan Pulau Nunukan. Skripsi.
- Indonesia. 2021. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1(078487A): 1–483. Tersedia di: <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id/>
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2003. Pedoman penentuan status mutu air. 1–15. Tersedia di: <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
- Khouni, I., Louhichi, G. & Ghrabi, A. 2021. Use of GIS based Inverse Distance Weighted interpolation to assess surface water quality: Case of Wadi El Bey, Tunisia. *Environmental Technology and Innovation*, 24: 101892. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101892
- Lesser, M.P. 2021. Eutrophication on coral reefs: What is the evidence for phase shifts, nutrient limitation and coral bleaching. *BioScience*, 71(12): 1216–1233. DOI: 10.1093/biosci/biab101
- Napitupulu, L., Tanaya Sitanggang, S., Ayostina, I., Andesta, I., Fitriana, R., Ayunda, D., Tussadiah, A., Ervita, K., Makhas, K., Firmansyah, R. & Haryanto, R. 2022. Trends in marine resources and fisheries management in Indonesia: A review. *World Resources Institute*, 1–58. DOI: 10.46830/wriipt.20.00064
- Nemerow, N.L. 1991. Stream, Lake, Estuary, and Ocean Pollution (Second). New York, NY, United States; Van Nostrand Reinhold Publishing Co.
- Nurrahman, Y.A. & Faizal, I. 2020. Condition of coral reef cover on Panjang Island, Thousand Islands National Park, DKI Jakarta. *Akuatika Indonesia*, 5(1): 27. DOI: – (tidak tersedia DOI resmi)
- Patty, S.I., Rizky, M.P., Rifai, H. & Akbar, N. 2019. Kajian kualitas air dan indeks pencemaran perairan laut di Teluk Manado ditinjau dari parameter fisika-kimia air laut. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 2(2): 1–13. DOI: 10.33387/jikk.v2i2.1387
- Prabawa, B., Febriarta, E. & Karya, P. 2018. Sumber daya air di Pulau Pelapis, Kepulauan Karimata, Kabupaten Kayong Utara. *Prosiding Seminar Nasional Ke-4 Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai*, 4: 181–186. Sahoo, D. & Anandhi, A. 2023. Conceptualizing turbidity for aquatic ecosystems in the context of sustainable development goals. *Environmental Science: Advances*, 2(9): 1220–1234. DOI: 10.1039/d2va00327a
- Seygita, V., Sulistiono, Kusmana, C. & Yulianto, G. 2021. Water quality, plankton community, and pollution index in the spawning habitat of longtail shad (*Tenualosa macrura*) in the waters of Bengkalis, Meranti Island and Siak Regencies, Riau Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 744(1): 12074. DOI: 10.1088/1755-1315/744/1/012074
- Sharma, M.K., Tyagi, V.K., Singh, N.K., Singh, S.P. & Kazmi, A.A. 2022. Sustainable technologies for on-site domestic wastewater treatment: a review with technical approach. *Environment, Development and Sustainability*, 24(3): 3039–3090.
- Siregar, M.A., Herawati, H. & Sari, D.W. 2023. Kondisi ekosistem terumbu karang di Pulau Pelapis, Kayong Utara. *Rnal Borneo Akcaya*, 9(1): 1–12.
- Suparyanto, Hudori, H.A., Pebriani, L.S., Fauzi, R.A. & Mujahidin. 2024. Edukasi peduli pesisir dalam upaya membangun wisata bahari yang sustainable. *Qardhul Hasan: Media Pengabdian Kepada Masyarakat*, 10(3): 264–274. DOI: 10.30997/qh.v10i3.15087
- Surya, A.T.J., Sasongko, A.S. & Cahyadi, F.D. 2024. Kandungan amonia, fosfat, nitrat dan nitrit air laut di perairan pesisir Desa Lontar. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 5(3): 238–245. DOI: 10.21107/juvenil.v5i3.23089
- Wahyuningsih, N., Suharsono, S. & Fitriani, Z. 2021. Kajian kualitas air laut di perairan Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Riset Pembangunan*, 4(1): 56–66. DOI: 10.36087/jrp.v4i1.94
- Watt-Pringle, R., Razak, T.B., Jompa, J., Ambo-Rappe, R., Kostaman, A.N. & Smith, D.J. 2024. Coral reef restoration in Indonesia: lessons learnt from the world's largest coral restoration

- nation. *Biodiversity and Conservation*, 33(10): 1–22. DOI: 10.1007/s10531-024-02897-8
- Yunita, N.F. & Zikra, M. 2017. Variability of sea surface temperature in Indonesia based on Aqua Modis satellite data. *IPTEK Journal of Engineering*, 3(3): 15–18. DOI: 10.12962/joe.v3i2.3083
- Yusal, M.S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A. & Pratomo, R.H.S. 2025. Review eutrofikasi: risiko dalam kesuburan lingkungan perairan dan upaya penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1): 124–135. DOI: 10.14710/jkli.24.1.124-135
- Zhou, Y., Zhu, Y., Zhu, J., Li, C. & Chen, G. 2023. A comprehensive review on wastewater nitrogen removal and its recovery processes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4): 1–25. DOI: 10.3390/ijerph20043429