

Analisis Status Mutu Perairan Pelabuhan Belawan Medan Berdasarkan Indeks STORET dan Indeks Pencemaran

Analysis of Water Quality Status in Belawan Harbor Medan, Based on the STORET Index and Pollution Index

Yuni Yolanda^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Teknologi Sumbawa, Sumbawa, 84371, Indonesia

*Korespondensi: yuni.yolanda@uts.ac.id

ABSTRAK

Pelabuhan Belawan merupakan pelabuhan tersibuk ketiga di Indonesia yang merupakan pintu gerbang perekonomian Sumatera Utara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis status mutu perairan Pelabuhan Belawan serta menganalisis sumber pencemarnya. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder meliputi data kualitas air dari buu pengelolaan dan pemantauan lingkungan pelabuhan Tahun 2015 hingga 2018, serta baku mutu air laut untuk pelabuhan dari Peraturan Menteri Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Pemantauan ada pada 14 stasiun pengamatan. Analisis data untuk penentuan status mutu menggunakan metode STORET dan metode Indeks Pencemaran, serta correlation Pearson untuk melihat korelasi antara parameter air. Hasil penelitian menunjukkan berdasarkan metode IP, perairan Pelabuhan Belawan masuk dalam kategori kondisi baik (memenuhi baku mutu), sedangkan analisis menggunakan metode STORET status mutu perairan masuk dalam kategori cemar ringan. Stasiun yang memiliki nilai cemar tertinggi yaitu stasiun 7 (Pelabuhan Perikanan Samudera Belawan) dan stasiun 8 (muara Sungai Deli). Secara keseluruhan parameter air masih berada dalam ambang batas baku mutu yang telah ditetapkan. Kondisi tercemar berasal dari kegiatan antropogenik seperti industri, perikanan, pertanian, dan adanya pengaruh letak geografis pelabuhan yang berada di daerah estuari, Suhu, kekeruhan, dan salinitas menjadi fak tor utama dalam mempengaruhi dan berpengaruh bagi ekosistem perairan Pelabuhan Belawan.

Kata kunci: indeks pencemaran, korelasi pearson, kualitas air, pelabuhan belawan, storet.

ABSTRACT

Belawan Harbor of North Sumatra is the third-busiest seaport in Indonesia and a gateway to the economic activity in the respective area. This study aimed to analyze the harbor water quality status and its sources of pollution. The data used for this study was the secondary data from the book of harbor environmental management and observations in 2015-2018 and the governmental regulation number 22 of 2021 on the harbor water quality standards. The observation was conducted in 14 different stations. The data obtained was then analyzed using STORET and pollution index to determine the quality status then using Pearson correlation to correlate the data. The results showed that according to the pollution index method, the water in Belawan Harbor is categorized as in good condition (comply with the water standard). However, according to the STORET method, the harbor water quality status is in mild pollution categories. The ocean fishing harbor of Belawan (station 7) and Deli estuary (station 8) have the highest number of pollutants. Overall, the water status in the harbor of Belawan is within the threshold of the

designated water standard. The polluted conditions generated from anthropogenic activity such as industrial, fishing and agriculture activity and also affected by the geographical location of the harbor which located in the estuary area. In addition, the temperature, turbidity, and salinity are the main factors affecting the water ecosystem in Belawan Harbor.

Keywords: *Belawan Harbor, pearson correlation, pollution index, storet index, water quality,*

1. PENDAHULUAN

Pelabuhan Belawan merupakan pelabuhan tersibuk ketiga di Indonesia yang memiliki luas 12.072, 33 (ha) pada daerah lingkungan kerja (DLKr). Menurut data digital badan pusat statistika pada tahun 2019 Pelabuhan Belawan melakukan kegiatan bongkar-muat kapal 11.9709.268 ton per tahun serta jumlah keberangkatan-kedatangan tahunan sekitar 128.396 penumpang. Pembangunan diberbagai sektor (seperti pelabuhan, industry, pertanian, urbanisasi, dan lain sebagainya) serta tingginya tingkat pertumbuhan di suatu wilayah akan berdampak positif bagi perekonomian masyarakat sekitar dengan terciptanya lapang pekerjaan baru. Namun di lain hal ini dapat berdampak buruk bagi ekosistem lingkungan khususnya perairan di wilayah pesisir (Ebeid *et al.*, 2022).

Pelabuhan Belawan berada di wilayah pesisir dan merupakan pelabuhan yang khas karena letak geografisnya yang berada di daerah estuaria tempat bertemunya dua sungai besar yaitu Sungai Deli dan Sungai Belawan. Pelabuhan yang berada di wilayah estuari rentan terhadap pencemaran (Sulistiyowati *et al.*, 2023). Masalah yang sering dihadapi yaitu terjadinya sedimentasi, hal ini dikarenakan terbawanya bahan tersuspensi, nutrisi, bahan kontaminan lainnya dari aktivitas antropogenik dari hulu hingga ke hilir sungai yang masuk ke badan air karena adanya pengaruh arus kemudian terakumulasi di wilayah pesisir. Sedimentasi yang terjadi di wilayah pesisir menjadi penghambat bagi kegiatan operasional pelayaran yaitu terjadinya pendangkalan di kolom air,

sehingga pihak pelabuhan sering mengambil langkah pengerukan dalam menyelesaikan masalah tersebut. Pengerukan akan menyebabkan kolom air menjadi keruh dan toksik karena sedimen banyak mengandung berbagai senyawa pencemar yang dapat menyebabkan gejala toksisitas bagi biota akuatik dan berbahaya bagi kesehatan manusia yang mengkonsumsinya (Power and Chapman, 1992; Maher *et al.*, 1999; Rippey *et al.*, 2007).

Begitu kompleksnya permasalahan lingkungan bagi aktivitas pelabuhan yang berada di ekosistem estuari sehingga pencemaran lingkungan seringkali dikaitkan dengan pertumbuhan kegiatan ekonomi dan industrialisasi pada suatu wilayah (Carvalho *et al.*, 2018; Tran *et al.*, 2019; Nasrollahi *et al.*, 2020). Pemantauan kualitas lingkungan khususnya air secara berkala merupakan strategi penting bagi keberlangsungan ekosistem perairan yaitu dengan menentukan karakteristik kimia, fisika, dan biologi yang memungkinkan dijadikan sebagai acuan potensi sumber pencemaran serta mendukung perencanaan dan pengelolaan wilayah pesisir dan laut yang terkena dampak dari aktivitas antropogenik (Mahmoud *et al.*, 2020; Doods *et al.*, 2016; Morsy *et al.*, 2022)

Setiap tahun selama 2 (dua) periode Pelabuhan Belawan melakukan pemantauan kualitas perairan. Namun dalam pemantauan yang dilakukan belum adanya pengukuran lebih rinci mengenai status mutu perairan di Pelabuhan Belawan, parameter kimia dan fisik penting dalam penentuan cepat kualitas air, sedangkan parameter biologis memberikan analisis yang lengkap dan kompleks dari lingkungan terkait (Uddin

et al., 2021; Drasovean dan Murariu, 2021. Hal ini diperlukan untuk melihat sejauh mana status mutu perairan Pelabuhan Belawan mengingat Pelabuhan Belawan merupakan pintu gerbang perekonomian Sumatera Utara. Oleh sebab itu diperlukan penelitian mengenai status mutu perairan Pelabuhan Belawan Medan.

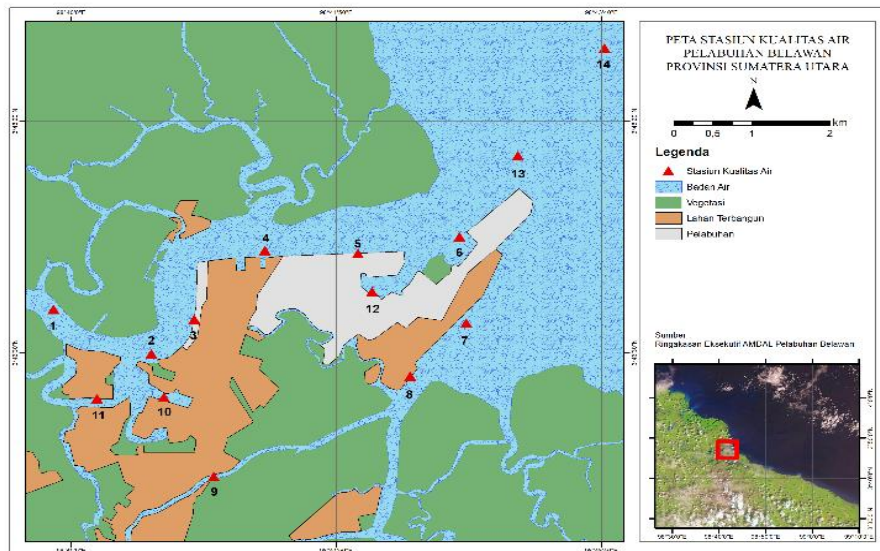
Tujuan dari penelitian ini adalah menilai status mutu perairan Pelabuhan Belawan Medan serta melihat pengaruh kualitas perairan berdasarkan parameter air yang terukur sehingga melalui penelitian ini dapat memberikan dasar data ilmiah yang akan berkontribusi bagi

keamanan ekosistem perairan pelabuhan serta mampu meningkatkan ekonomi ekologis.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi dan Waktu

Pengambilan sampel air dilakukan pada 14 stasiun pengamatan di daerah lingkungan kerja (DLKr) pelabuhan dan daerah lingkungan kepentingan (DLKp) Pelabuhan Belawan, Kecamatan Medan Belawan, Provinsi Sumatera utara. Peta lokasi dan stasiun penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tabel 1. Lokasi Pengamatan Parameter Perairan

Stasiun	Koordinat		Deskripsi Lokasi
	Lintang	Bujur	
1	3°46'50.43"LU	98°39'52.76"BT	500 ml ke arah hulu PLTU Sicanang
2	3°46'29.33"LU	98°40'33.30"BT	Pabrik Plywood PT. Tjipta Rimba
3	3°46'45.70"LU	98°40'51.10"BT	Dermaga Belawan Lama – Terminal LANTAMAL
4	3°47'18.53"LU	98°41'20.50"BT	Dermaga Pengerukan
5	3°47'17.00"LU	98°41'59.00"BT	Gudang 107 Ujung Baru
6	3°47'25.00"LU	98°42'41.20"BT	Jetty PT. Pertamina
7	3°46'44.00"LU	98°42'43.90"BT	Dermaga tempat pelelangan ikan
8	3°46'18.70"LU	98°42'20.70"BT	Bagan Deli – Muara Sungai Deli I
9	3°45'30.91"LU	98°40'59.25"BT	Jembatan Sungai Deli-Kp. Syukur
10	3°46'8.60"LU	98°40'38.50"BT	Permukiman Kel. Belawan Bahagia
11	3°46'7.95"LU	98°40'10.76"BT	Industri Kel. Belawan Sicanang
12	3°46'58.80"LU	98°42'4.90"BT	Galangan Kapal PT. Waruna Nusa Sentana
13	3°48'3.66"LU	98°43'5.36"BT	Buoy VII – reklamasi pelabuhan
14	3°48'54.80"LU	98°43'41.30"BT	Dumping area untuk sedimen alur pelayaran

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu: Data kualitas air dari buku pengelolaan dan pemantauan lingkungan pelabuhan Tahun 2015 hingga 2018, serta baku mutu air laut untuk pelabuhan dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 (selanjutnya disingkat PP No. 22 Tahun 2021).

Parameter kualitas air yang diteliti meliputi 11 parameter, yaitu:

- Parameter Fisika: Kekeruhan, padatan tersuspensi total (TSS), dan suhu.
- Parameter Kimia: pH, salinitas, amonia total (NH₃-N), Sulfida (H₂S), Hidrokarbon total, deterjen, dan minyak lemak.
- Parameter Biologi: Total *Coliform*.

Tabel 2. Kriteria status mutu kualitas air berdasarkan nilai indeks pencemaran

Indeks STORET	Indeks Pencemaran	Mutu Perairan
0	$0 \leq P_{ij} \leq 1,0$	Kondisi Baik (Memenuhi baku mutu)
-1 s/d -10	$1,0 < P_{ij} \leq 5,0$	Cemar ringan
-11 s/d -30	$5,0 < P_{ij} \leq 10$	Cemar sedang
≥ 31	$P_{ij} > 10$	Cemar berat

Panduan lengkap untuk perhitungan metode STORET dan metode IP dapat dilihat pada pedoman status mutu air Kepmen LH No. 115 Tahun 2003.

2.3. Analisis Korelasi Parameter Air

Data sekunder dianalisis dalam bentuk tabel melalui aplikasi software SPSS 25. Korelasi antar masing-masing variable dianalisis dengan metode *Pearson Product Moment* kemudian diinterpretasikan secara rinci.

Interpretasi harga R terbesar adalah +1 dan terkecil adalah -1 (R = +1 menunjukkan hubungan positif sempurna, R = -1 menunjukkan negatif sempurna). Jika nilai parameter air memiliki nilai korelasi positif, maka parameter tersebut memiliki nilai searah di perairan. Sebaliknya jika nilai parameter bernilai negative maka parameter tersebut saling bertolak belakang. Dasar pengambilan keputusan untuk melihat adanya

2.2. Analisis Status Mutu Perairan

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 (selanjutnya disingkat Kepmen LH No. 115 Tahun 2003) metode yang disarankan untuk perhitungan status mutu air yaitu dengan menggunakan metode STORET dan metode indeks pencemaran (IP). Perhitungan status mutu prinsipnya membandingkan antara data kualitas air dengan baku mutu air yang disesuaikan dengan peruntukannya guna menentukan status mutu air (Polapa *et al.*, 2022). Klasifikasi status mutu air terbagi dalam empat kelas (Tabel 2).

hubungan antara parameter air terukur yaitu melihat taraf signifikansi dan koefisien korelasi (R) adalah sesuai Tabel 3 berikut (Guilford, 1956).

Tabel 3. Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi (R)	Keterangan
0,00-0,20	Sangat rendah
0,20-0,40	Rendah
0,40-0,60	Cukup
0,60-0,80	Tinggi
0,80-1,00	Sangat tinggi

Pengambilan keputusan menggunakan derajat signifikansi yaitu jika nilai signifikansi <0,05 maka parameter air terukur berkorelasi. Jika nilai signifikansi >0,05 maka parameter air terukur tidak berkorelasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter kualitas air Pelabuhan Belawan

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan 11 parameter kualitas air di perairan Pelabuhan Belawan meliputi aspek fisik: kekeruhan, TSS, suhu, aspek

kimia: pH, Salinitas, Amonia, Sulfida, Hidrokarbon Total, Deterjen, Minyak Lemak dan aspek biologi: Total Coliform. Hasil pengukuran parameter kualitas air disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4. Parameter kualitas air Pelabuhan Belawan Medan

Stasiun	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/l)	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)	Amonia (mg/l)	Sulfida (mg/l)	Hidrokarbon total (mg/l)	Deterjen (mg/l)	Minyak lemak (mg/l)	Coliform (MPN)
1	8.74	33.71	31.05	7.68	21.26	0.16	0.029	0.14	0.33	0.49	378
2	7.43	35.00	30.84	7.86	22.13	0.07	0.024	0.14	0.34	0.37	665
3	8.90	31.86	30.54	7.71	21.84	0.06	0.025	0.12	0.38	0.54	157
4	12.50	33.57	30.38	7.93	22.90	0.07	0.024	0.19	0.30	0.39	177
5	7.89	34.14	30.48	8.03	23.51	0.09	0.025	0.23	0.34	0.54	170
6	6.48	30.43	30.61	8.00	24.29	0.08	0.026	0.12	0.31	0.49	180
7	9.45	33.71	29.81	7.84	15.90	0.40	0.027	0.15	0.31	0.63	186
8	12.78	35.86	29.76	7.76	16.54	0.31	0.025	0.29	0.29	0.54	198
9	16.00	37.86	28.53	7.35	7.58	0.07	0.032	0.27	0.26	0.47	211
10	11.00	35.14	30.66	7.87	22.39	0.06	0.024	0.17	0.33	0.69	174
11	7.85	36.86	30.66	7.88	22.41	0.15	0.027	0.29	0.35	0.53	168
12	7.48	33.51	30.50	7.88	25.30	0.09	0.026	0.22	0.26	0.52	174
13	6.38	34.71	30.46	8.13	25.91	0.07	0.023	0.10	0.37	0.41	162
14	4.04	34.86	31.02	8.16	25.96	0.13	0.024	0.09	0.33	0.66	203
Baku Mutu	-	80	29.8-32	6.5-8.5	21,28-26,28	0.3	0.03	1	1	5	1000
Max	16	37,86	31,05	8,16	25,96	0,40	0,032	0,29	0,38	0,69	665
Min	4,04	30,43	28,53	7,35	7,58	0,06	0,023	0,09	0,26	0,37	157
Total	126.90	481.23	425.30	110.08	297.92	1.80	0.362	2.49	4.50	7.25	3204
Rerata	9,06	34,37	30,38	7,86	21,28	0,13	0,026	0,18	0,32	0,52	229

Pada Perairan Pelabuhan Belawan Medan kualitas perairan kategori baik pada aspek fisika, kimia, dan biologi. Membandingkan hasil parameter kualitas air terukur dengan baku mutu air untuk Pelabuhan pada PP No. 22 Tahun 2021 diperoleh hasil pada aspek fisik yaitu kekeruhan dengan nilai berkisar 4,04 – 16 NTU dengan rata-rata 9,06 NTU berada pada ambang batas aman, hal ini dikarenakan tidak ada penentuan standar baku mutu untuk parameter kekeruhan bagi pelabuhan. Namun world health organization (WHO) menetapkan nilai kekeruhan minimum yaitu 5 NTU untuk air minum (Ondieki *et al.*, 2021).

Total padatan tersuspensi (TSS) di permukaan air umumnya berasal dari tepian sungai, limpasan air badai, erosi

saluran, plankton, tumbuhan mati, dan resuspensi sedimen ke dalam kolom air (Mahvi dan Razazi., 2005). Nilai TSS tertinggi terdapat pada stasiun 9 dengan nilai 37,86 mg/l sedangkan nilai TSS terendah pada stasiun 6 dengan nilai 30,43 mg/l. Secara keseluruhan TSS pada perairan berada di bawah baku mutu.

Parameter suhu memiliki rerata 30,38 °C dengan nilai tertinggi pada stasiun 1 bernilai 31,05 °C dan suhu terendah pada stasiun 9 bernilai 28,53 °C. baku mutu alami untuk perairan pelabuhan khususnya perairan Pelabuhan Belawan yaitu 29,8 hingga batas maksimum diperbolehkan adalah 31 °C. pada Gambar 2 terlihat bahwa secara keseluruhan suhu pada setiap stasiun tidak melampaui batas maksimum baku

mutu, namun terdapat hanya 4 stasiun baku mutu yang tidak melampaui baku mutu alami yaitu stasiun 4, 7, 8, dan 9.

Aspek kimia rerata untuk kandungan pH adalah 7,86 dengan nilai pH tertinggi pada stasiun 14 bernilai 8,16 dan nilai pH terendah pada stasiun 9 bernilai 7,35 dengan baku mutu pH yaitu 6,5-8,5. Sama halnya dengan parameter suhu untuk parameter pH secara keseluruhan pH tidak melampaui batas baku mutu (tidak basa) dan tidak berada di bawah baku mutu (tidak asam).

Salinitas memiliki pengaruh yang signifikan dalam mengukur berbagai kondisi proses biologis akuatik dan kimia perairan alami (Abdullah *et al.*, 2009; Magouz *et al.*, 2021). Nilai salinitas dalam penelitian ini memiliki rerata 21,28 ‰ yang mana nilai tertinggi adalah 25,30 ‰ terdapat pada stasiun 12, sedangkan nilai salinitas terendah adalah 7,58 ‰ pada stasiun 9. Baku mutu alami untuk salinitas air di kawasan Pelabuhan Belawan bernilai 21,28 ‰ dan baku mutu maksimum yang diijinkan yaitu 26,28‰. Keseluruhan stasiun tidak melampaui batas maksimum salinitas, terdapat 4 stasiun yang memiliki nilai salinitas di bawah baku mutu salinitas alami yaitu stasiun 1, 7, 8, dan 9.

Nilai parameter amonia tertinggi pada stasiun 7 bernilai 0,40 mg/l serta nilai amonia terendah pada stasiun 3 dan 10. Baku mutu untuk amonia yaitu 0,3 mg/l, pada penelitian ini terdapat 2 stasiun yg melampaui baku mutu yang telah ditetapkan yaitu stasiun 7 dan 8. Kadar amonia yang tinggi di stasiun ini dapat disebabkan dari pembusukan bahan organik seperti sisa tumbuhan dan hewan yang terbawa dari hulu sungai hingga ke hilir yang mati di perairan. Proses ini menghasilkan senyawa organik yang terdekomposisi, termasuk senyawa nitrogen yang berubah menjadi amonia.

Selain tempat mengumpulkan dan menjual ikan secara massal, tempat pelelangan ikan terdapat banyak aktivitas lainnya seperti penggunaan air untuk membersihkan ikan, membersihkan tempat, dan mencuci peralatan lelang. Hal ini dapat menyebabkan kadar amonia

di dalam air meningkat, terutama jika limbah tersebut tidak diolah terlebih dahulu melainkan langsung dibuang ke perairan mengingat manajemen pengolahan limbah PPS Belawan masih terbatas. Kadar amonia yang tinggi dapat memicu pertumbuhan alga serta menurunkan kadar oksigen di dalam air sehingga berbahaya bagi biota air dan manusia yang akan mengkonsumsinya (Royan *et al.*, 2019)

Sulfida memiliki nilai tertinggi pada stasiun 9 bernilai 0,032 mg/l dan nilai terendah pada stasiun 13 bernilai 0,023 mg/l. Rerata nilai sulfida terukur adalah 0,026 mg/l sedangkan untuk baku mutu yang ditetapkan adalah 0,03 mg/l. Stasiun 9 merupakan stasiun yang berada di atas baku mutu. Stasiun 9 berada di bawah jembatan Sungai Deli sekitar Kampung Syukur, yang mana sulfida yang tinggi pada stasiun ini disebabkan karena banyaknya limbah domestik dan sampah menumpuk di sekitar jembatan atau permukiman sehingga terjadinya pembusukan bahan organik yang menghasilkan senyawa belerang seperti sulfat yang dapat diubah oleh bakteri menjadi sulfida melalui proses reduksi biologi. Kelembaban yang tinggi serta sirkulasi udara yang kurang di area bawah jembatan atau permukiman dapat memicu sulfida oleh bakteri anaerob.

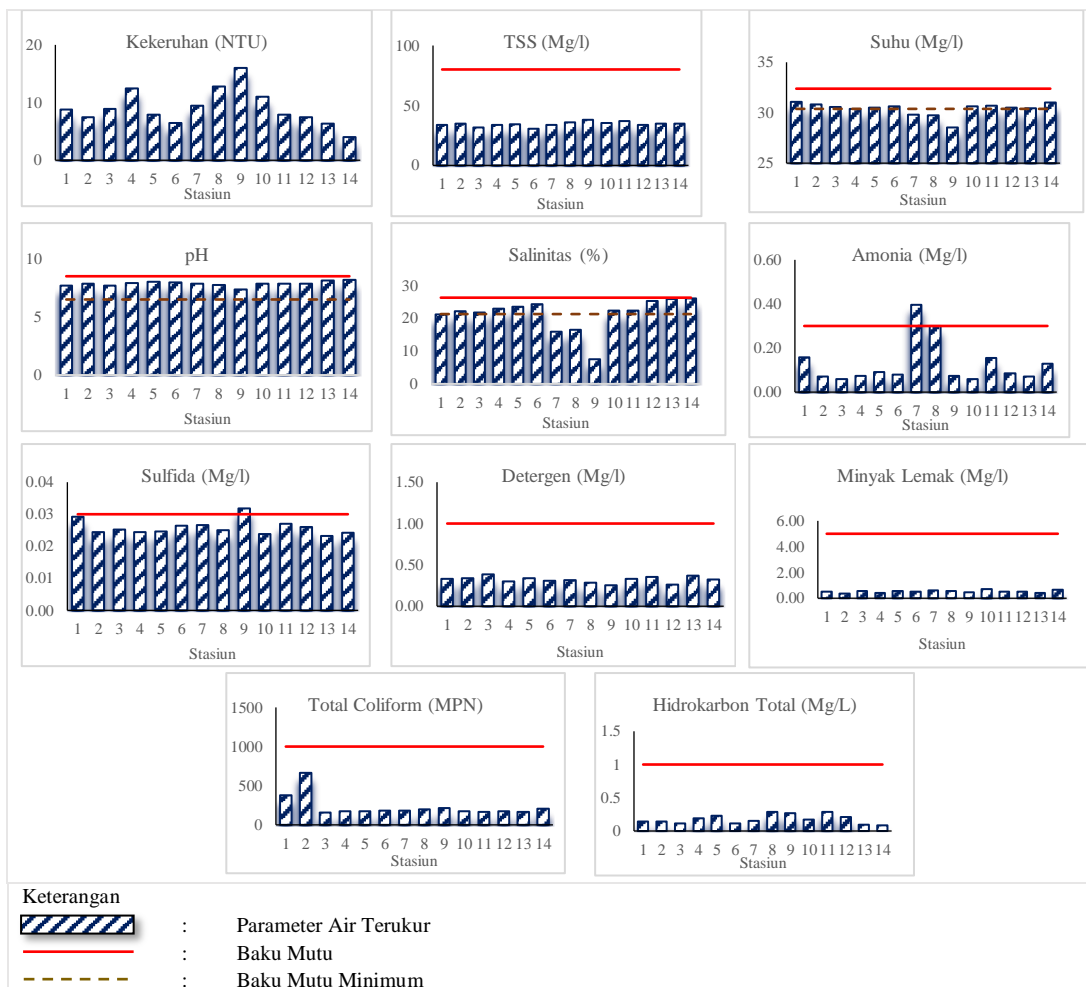
Rerata hidrokarbon total di perairan Pelabuhan Belawan yaitu 0,32 mg/l. Sedangkan untuk standar baku mutu hidrokarbon total yaitu 1 mg/l. Nilai hidrokarbon total tertinggi yaitu pada stasiun 8 bernilai 0,29 mg/l sedangkan nilai terendah pada stasiun 14 bernilai 0,09 mg/l. Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa kandungan hidrokarbon total di perairan berada di bawah baku mutu pada seluruh stasiun pengamatan.

Deterjen memiliki nilai tertinggi pada stasiun 3 dengan nilai 0,38 mg/l sedangkan nilai terendah pada stasiun 9 bernilai 0,26 mg/l. Sama halnya dengan sulfida, baku mutu untuk parameter deterjen yaitu bernilai 1 mg/l. Pada seluruh stasiun pemantauan berada di

bawah baku mutu dengan rerata 0,32 mg/l.

Aspek biologi yaitu total coliform memiliki nilai tertinggi pada stasiun 2 bernilai 665 MPN sedangkan nilai total coliform terendah pada stasiun 3 yang bernilai 157 MPN. Rerata nilai total coliform pada perairan Pelabuhan Belawan yaitu 229 MPN dengan baku mutu 1000 MPN hal ini dapat terlihat bahwa seluruh stasiun pemantauan untuk total coliform berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan. Golongan bakteri coliform dikenal sebagai bakteri penyebab diare dan gangguan saluran

pencernaan (Anisafitri *et al.*, 2020). Bakteri coliform memiliki sifat enteropatogenik atau dapat menyebabkan penyakit berbahaya bagi Kesehatan manusia seperti diare (Supardan *et al.*, 2018). Keberadaan pembangkit tenaga listrik, pabrik pengolahan, atau permukiman yang terletak disekitaran sungai dapat menyebabkan peningkatan coliform di dalam air sungai, limbah dari aktivitas manusia, dan hewan, seperti limbah domestic dan limbah industry dapat mencemarin air sungai dan meningkatkan jumlah coliform di dalam air.



Gambar 2. Grafik perbandingan parameter kualitas air dengan baku mutu

3.2. Status mutu perairan Pelabuhan Belawan

Tabel 5 menunjukkan status mutu air Pelabuhan Belawan pada ke empat

belas stasiun pengamatan, yaitu pada metode STORET nilai tertinggi bernilai -24 pada stasiun 7 dan 8, sedangkan nilai terendah bernilai -8 di stasiun 3, 4, 5, dan

13. Berdasarkan penilaian status mutu menggunakan metode IP diperoleh nilai tertinggi yaitu 1,30 pada stasiun 7,

sedangkan nilai terendah yaitu 0,82 pada stasiun 1.

Tabel 5. Hasil Status Mutu Perairan Pelabuhan Belawan

Stasiun	Nilai STORET	Status Mutu	Nilai Indeks Pencemaran	Status Mutu
1	-12	Cemar Sedang	0,82	Kondisi Baik
2	-18	Cemar Sedang	1,05	Cemar Ringan
3	-8	Cemar Ringan	0,86	Kondisi Baik
4	-8	Cemar Ringan	0,90	Kondisi Baik
5	-8	Cemar Ringan	0,87	Kondisi Baik
6	-10	Cemar Ringan	0,91	Kondisi Baik
7	-24	Cemar Sedang	1,30	Cemar Ringan
8	-24	Cemar Sedang	1,08	Cemar Ringan
9	-16	Cemar Sedang	1,03	Cemar Ringan
10	-10	Cemar Ringan	0,88	Kondisi Baik
11	-12	Cemar Sedang	0,93	Kondisi Baik
12	-12	Cemar Sedang	0,90	Kondisi Baik
13	-8	Cemar Ringan	0,89	Kondisi Baik
14	-12	Cemar Sedang	0,99	Cemar Ringan
TOTAL	-13	Cemar Ringan	0,96	Kondisi Baik

	: Kondisi Baik (memenuhi baku mutu)
	: Cemar Ringan
	: Cemar Sedang

Terdapat beberapa perbedaan status mutu pada setiap stasiun. Pada setiap stasiun tidak ada yang masuk dalam kategori status mutu tercemar berat. Berdasarkan analisis metode STORET dan metode IP didapatkan stasiun 7 dan 8 memiliki nilai status mutu tertinggi yaitu kategori cemar sedang pada metode STORET dan cemar ringan pada metode IP. Stasiun 7 berada pada dermaga PPS Belawan dan stasiun 8 yaitu di Muara Sungai Deli 1.

Dermaga PPS Belawan satu aliran dengan muara Sungai Deli yang menyebabkan kontaminan yang didapat di PPS Belawan menjadi sangat kompleks. Pelabuhan perikanan merupakan pusat aktivitas manusia seperti pemuatan dan pemindahan ikan dari kapal ke darat. Aktivitas ini menghasilkan limbah seperti sisa ikan, kemasan plastik, minyak, bahan kimia, dan lainnya yang dapat menyebabkan kolom air menjadi toksik. Pembuangan limbah baik dari industri maupun rumah tangga yang terbawa dari hulu hingga muara Sungai Deli mengandung bahan

kimia berbahaya yang kemudian adanya pengaruh pasang surut air laut dan aktivitas perikanan di stasiun 7. Menurut Sembel *et al.*, (2017) pasang surut sangat berpengaruh terhadap distribusi limbah di perairan, hal ini yang menjadi penyebab stasiun 7 dan 8 menjadi paling tercemar.

Berdasarkan perhitungan STORET status mutu perairan Pelabuhan Belawan berada pada kondisi tercemar ringan dengan nilai -13, sedangkan pada perhitungan metode IP status mutu air dalam kondisi baik dengan nilai 0,96. Status mutu akan berubah seiring berjalannya waktu Bersama dengan meningkatnya aktivitas antropogenik. Jika hal ini tidak diperhatikan dengan baik maka status mutu dapat berubah menjadi lebih buruk, namun jika dapat dikelola sebelum terjadinya pencemaran maka status mutu dapat berubah menjadi lebih baik lagi.

Penentuan status mutu perairan dengan metode STORET maupun metode IP tidak dapat disimpulkan perhitungan metode mana yang lebih baik karena kedua metode tersebut

memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Hal ini kembali pada data yang ingin diolah. Metode STORET sebaiknya digunakan untuk data *time series* seperti data tahunan, bulanan, ataupun harian yang direkam selama interval waktu yang konsisten. Hal ini akan membutuhkan yang lebih lama dalam pengumpulan data, sedangkan penggunaan metode IP dapat menggunakan data satu waktu.

Metode STORET cukup sensitif merespon nilai status mutu berdasarkan jumlah parameter terukur (Saraswati *et al.*, 2014), semakin banyak jumlah parameter terukur dan semakin banyak jumlah parameter yang dibandingkan dengan baku mutu maka semakin dipercaya hasil analisis status mutunya, sedangkan metode IP tidak bergantung kepada jumlah parameter yang diukur. Hal ini karena metode PI yang dianggap

penting yaitu memiliki nilai parameter air dan baku mutu sebagai pembagiannya.

Nilai pada metode STORET sangat bergantung pada aspek parameter yang diukur yang mana aspek biologi memiliki nilai yang lebih besar atau penting. Meskipun fisika kimia air juga penting, seperti pH dan suhu, namun parameter biologi memainkan peran yang lebih signifikan karena keberadaan organisme hidup di dalam air mempengaruhi dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan di dalam air. Pencemaran mikroba dalam badan air merupakan salah satu masalah utama yang berkaitan dengan kualitas sanitasi air minum dan rekreasi. Keberadaan bakteri patogen, protozoa, dan virus merupakan salah satu ancaman serius bagi kesehatan manusia (Sharma 2001; Some *et al.*, 2021).

Tabel 6. Perbandingan status mutu air Pelabuhan Belawan dengan studi lainnya

Stasiun	Nilai STORET	Status Mutu	Nilai IP	Status Mutu	Referensi
Pantai Bulumanis Kidul, Pati	X	X	7,22	Cemar Sedang	Damayanti, 2013
Air laut, Teluk Lampung	-3,7	Cemar Ringan	4,61	Cemar Ringan	Verawati, 2016
Pelabuhan Panggulubelo	-14	Cemar Sedang	2,79	Cemar Ringan	Asuhadi dan Manan, 2018
Perairan Teluk Benoa, Bali	-101	Cemar Berat	X	X	Prasetijo, 2021
Pelabuhan Perikanan, Kota Sorong	-60	Cemar Berat	X	X	Histiari dan Yakin, 2021
Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Kutaraja	X	X	2,71	Cemar Ringan	Handayani <i>et al.</i> , 2022
Pelabuhan Belawan Medan	-13	Cemar Ringan	0,96	Kondisi Baik	Studi ini

Pada Tabel 6 terlihat perbandingan status mutu perairan Pelabuhan Belawan dengan perairan di kawasan pelabuhan laut lainnya di Indonesia menunjukkan bahwasannya perairan Pelabuhan Belawan berada pada status mutu yang lebih baik. Perairan yang paling tercemar terdapat pada perairan Teluk Benoa berdasarkan nilai STORET, hal ini dikarenakan pada kawasan Laut Benoa terdapat aktivitas kepelabuhan terbesar dan merupakan pelabuhan laut utama di Bali, selain itu pada kawasan Teluk Benoa juga terdapat kegiatan industri dan perikanan skala besar (Prasetijo, 2021).

Perbedaan status mutu Pelabuhan Belawan dengan pelabuhan lainnya khususnya pelabuhan yang berlokasi di daerah teluk memiliki nilai cemaran yang lebih tinggi daripada nilai cemaran pada Pelabuhan Belawan yang berada di daerah muara sungai. Hal ini dapat disebabkan keterbatasan aliran air yang dapat menyebabkan akumulasi limbah dari aktivitas antropogenik di dalam teluk sehingga perairan pada Kawasan teluk cenderung lebih tercemar daripada yang berada di kawasan muara sungai.

3.3. Analisis Korelasi Parameter Kualitas Air Pelabuhan Belawan

Korelasi interpretasi digunakan untuk menafsirkan skor korelasi Pearson

(R) antara kualitas air terukur di perairan Pelabuhan Belawan. Skor korelasi *Pearson* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Analisis korelasi kualitas air

Parameter	R	Kekrh.	TSS	Suhu	pH	Sali.	Amo.	Sulfd.	Hidr.	Det.	M.lem	Coli.
Kekeruhan	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	1										
TSS	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	.438 .117	1									
Suhu	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.784** .001	-.462 .096	1								
pH	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.780** .001	-.358 .209	.665** .009	1							
Salinitas	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.815** .000	-.510 .063	.891** .000	.849** .000	1						
Amonia	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	.111 .704	.100 .733	-.242 .405	-.082 .781	-.362 .203	1					
Sulfida	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	.499 .069	.322 .262	-.596* .024	-.800** .001	-.747** .002	.164 .575	1				
Total hidrokarbon	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	.606* .022	.606* .022	-.535* .049	-.462 .096	-.500 .069	.188 .520	.418 .137	1			
Detergen	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.518 .058	-.211 .469	.578* .031	.415 .141	.490 .075	-.192 .511	-.489 .076	-.491 .074	1		
Minyak Lemak	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.121 .681	.027 .928	.072 .807	.111 .706	-.005 .988	.369 .194	-.021 .943	-.029 .921	.009 .975	1	
Total Coliform	<i>Pearson</i> <i>Cor.</i> <i>Sig.</i>	-.113 .702	.102 .728	.249 .391	-.143 .626	-.022 .941	-.087 .767	-.003 .992	-.194 .506	.094 .750	-.442 .113	1

**, Correlation is significant at the 0,01 level (2-tailed)

*, Correlation is significant at the 0,05 level (2-tailed)

Pada Tabel 7 terlihat bahwa korelasi positif tertinggi pada taraf signifikan 0,01 berturut-turut adalah Salinitas dengan suhu bernilai 0,891, kemudian salinitas dengan pH bernilai 0,489, dan pH dengan suhu bernilai 0,665. Salinitas, pH, dan suhu memiliki korelasi yang sangat kuat hal ini menyatakan bahwa jika salah satu parameter tersebut tinggi nilainya di perairan maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang searah. Dalam lingkungan air laut, salinitas, suhu, dan pH sangat penting untuk keberlangsungan hidup organisme laut, terutama terumbu karang dan plankton.

Hubungan salinitas dengan suhu adalah jika suhu perairan turun maka

salinitas juga cenderung menurun karena air dingin hanya dapat menampung sedikit garam. Sedangkan hubungan salinitas dengan pH adalah air dengan tingkat salinitas yang tinggi cenderung memiliki pH yang lebih tinggi karena garam dapat bertindak sebagai buffer dan menetralkan asam atau basa. Salinitas secara langsung dapat mempengaruhi kualitas perairan (Józwiakowska *et al.*, 2020). Hubungan suhu dan pH adalah suhu dapat meningkatkan laju reaksi kimia dalam air termasuk asam-basa, sehingga saat suhu air naik maka pH air juga akan cenderung meningkat.

Parameter yang memiliki korelasi pada derajat signifikan 0,05 adalah total hidrokarbon dengan kekeruhan dan TTS

bernilai 0,606, detergen dengan suhu bernilai 0,578 hal ini menyatakan bahwa nilai suhu cukup dipengaruhi oleh keberadaan detergen di suatu kolom air. Kekeruhan di perairan umumnya disebabkan oleh partikel padat yang terlarut dalam air seperti endapan sedimen, partikel organik, atau pasir (Yolanda *et al.*, 2019). Partikel-partikel ini dapat membawa hidrokarbon yang terikat padanya dan mengendap di dasar perairan. Kondisi ini dapat mempengaruhi konsentrasi hidrokarbon di perairan karena terjadinya penumpukan atau pengendapan hidrokarbon di dasar perairan. TSS dapat mempengaruhi total hidrokarbon di perairan karena partikel-partikel terlarut dalam air dapat mengikat hidrokarbon dan membanya Bersama dengan partikel-partikel tersebut.

Deterjen mengandung bahan-bahan kimia seperti surfaktan, bulder, dan enzim yang digunakan untuk membersihkan pakaian dan bahan lainnya dengan efektif.

Bahan kimia dalam deterjen dapat mengurangi ketebalan lapisan permukaan air dan meningkatkan konduktivitas termal (Zhou *et al.*, 2012). Konduktivitas termal adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas. Dalam hal ini semakin tinggi konduktivitas termal semakin cepat suhu air berubah. Jika suhu air meningkat dapat memicu pertumbuhan alga yang berlebihan dan meningkatkan kepadatan TSS di perairan, hal ini dibuktikan dengan adanya korelasi positif antara deterjen dengan TSS bernilai 0,578.

Parameter yang berkorelasi negatif pada taraf signifikan 0,01 yang berarti memiliki derajat hubungan yang kuat dan dapat saling mempengaruhi berturut-turut adalah salinitas dengan kekeruhan bernilai -0,815, pH dengan Sulfida bernilai -0,800, suhu dengan kekeruhan bernilai -0,784, pH dan kekeruhan bernilai -0,780, sulfida dengan salinitas bernilai -0,747.

Kekeruhan dapat mempengaruhi suhu, salinitas, dan pH dalam kolom air. Ketika partikel padat seperti sedimen,

lumpur atau partikel organik terlarut dalam air yang menyebabkan kekeruhan, sehingga dapat menyerap cahaya dan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air. Hal ini yang menyebabkan penurunan suhu dalam air di bawah permukaannya. Kekeruhan juga dapat mempengaruhi salinitas dan pH melalui partikel padat yang terlarut dalam air yang dapat mengikat ion-ion dalam air dan mempengaruhi konsentrasi ion-ion tersebut. Seperti partikel organik yang larut dalam air dapat mengikat ion logam dan menurunkan konsentrasi ion-ion tersebut, yang dapat mempengaruhi salinitas dan pH dalam perairan. Selain itu, Menurut Józwiakowska *et al.*, (2020) perubahan salinitas juga dapat mempengaruhi kualitas air seperti irigasi dan air minum (perubahan Na^+ dan MgSO_4 dapat menyebabkan efek laksatif).

Sulfida dapat mempengaruhi pH di dalam air, Ketika sulfida teroksidasi, senyawa ini dapat melepaskan ion hidrogen (H^+) sehingga dapat menurunkan pH di dalam air. Sebaliknya, jika pH di dalam air menurun, sulfida dapat bereaksi dengan ion hydrogen untuk membentuk senyawa sulfhidril (HS^-).

Parameter yang memiliki korelasi negatif pada derajat signifikan 0,05 yang berarti memiliki derajat hubungan yang cukup adalah suhu dengan sulfida bernilai -0,596, dan suhu dengan total hidrokarbon bernilai -0,535. Suhu dapat mempengaruhi konsentrasi sulfida dan hidrokarbon di perairan, terutama di perairan yang memiliki lingkungan anaerobik seperti rawa-rawa atau laut dalam. Dalam kondisi normal konsentrasi sulfida dan hidrokarbon di perairan seharusnya rendah dan tidak berbahaya bagi kehidupan organisme laut dan manusia. Namun, Suhu yang tinggi dapat meningkatkan volatilitas hidrokarbon dan mengurangi kelarutan hidrokarbon di dalam air.

Berdasarkan hasil analisis, suhu memiliki korelasi dengan parameter kualitas air lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa suhu merupakan parameter fisika-

kimia kualitas air utama yang penting dalam evaluasi kualitas perairan. Perubahan suhu di kolom air dapat mendorong laju reaksi-reaksi kimia di perairan, peningkatan evaporasi, dan pelepasan gas dari perairan (Suyasa, 2015). Suhu juga dapat mempengaruhi banyak hal lainnya seperti proses desinfeksi, kelarutan gas, perubahan rasa, dan perubahan warna air (Marois-Fiset *et al.*, 2013). Berdasarkan hal tersebut menyatakan bahwa suhu memiliki peran penting di perairan.

KESIMPULAN

Kondisi perairan Pelabuhan Belawan Medan berdasarkan hasil analisis dengan metode IP menunjukkan status dalam kondisi baik atau memenuhi standar baku mutu, sedangkan analisis perhitungan berdasarkan status mutu metode STORET menunjukkan status mutu perairan dalam kategori tercemar ringan. Parameter air yang melampaui baku mutu di perairan Pelabuhan Belawan adalah sulfida dan amoni, yang mana perairan paling tercemar berada pada daerah muara Deli dan Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan.

Berdasarkan analisis korelasi parameter suhu, selinitas, dan kekeruhan dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh parameter air lainnya di perairan. Padatan yang dihasilkan dari kegiatan antropogenik seperti aktivitas PLTU, industri, perikanan, pertanian, dan lainnya merupakan penyumbang kekeruhan di perairan. Perubahan iklim sebagai penyumbang pemanasan global juga mempengaruhi suhu di perairan yang mana peningkatan suhu atau penurunan suhu pada saat cuaca ekstrim dapat mempengaruhi kondisi perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pelindo I Cabang Belawan yang sudah memberikan izin melakukan analisis kajian mengenai status mutu perairan di Pelabuhan Belawan. Terima kasih penulis ucapkan kepada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas

Teknologi Lingkungan dan Mineral, Universitas Teknologi Sumbawa untuk segala support dan semangatnya bagi peneliti dalam menyelesaikan penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M.I., Dunlop, H.M., & Gardner D. 2009. Chemical and hydrographic observations in the bristol channel during April and June 1971. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 53 (2); 299-319. <https://doi.org/10.1017/S0025315400022281>
- Anisafitri, J., Khairuddin, & Rasmi, D.A.C. (2020). Analisis total bakteri coliform sebagai indikator pencemaran air pada Sungai Unus Lombok. *Jurnal Pijar MIPA*. 15(3): 266-272. DOI: 10.29303/jpm.v15i3.1622.
- Asuhadi, S., & Manan, A. (2018). Status mutu air Pelabuhan Panggulubelo berdasarkan indeks storet dan indeks pencemaran. *Jurnal Kelautan Nasional*. 13 (2), 107-119. <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v13i2.6475>
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in sustainable manufacturing. *Procedia Manufacturing.*, 21: 671-678. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.170>
- Damayanti, H.O. (2013). Status mutu air laut di Pantai Bulumanis Kidul Kabupaten Pati. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 20 (3), 367-376.
- Dodds, W.K., Smith, & V.H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters* 6 (2), 155–164. DOI: 10.5268/IW-6.2.909.
- Drasovean, R., & Murariu, G. (2021). Water quality parameters and monitoring soft surface water

- quality using statistical approaches. Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment, p. 217.
- Ebeid, M.H., Ibrahim, M.I.A., Abo Elkhair, E.M., Mohamed, L.A., Halim, A.A., Shaban, K.S., & Fahmy, M. (2022). The modified Canadian water index with other sediment models for assessment of sediments from two harbours on the Egyptian Mediterranean coast. *Journal of Hazardous Materials Advances*. Vol. 8 (2022) 1 00180. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100180>.
- Guilford, J.P. (1956). *Fundamental statistic in psychology and education*. 3rd. Ed. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Handayani, P., Rizwan, & Kandi, O. (2022). Analisis kualitas air di pelabuhan perikanan samudera (PPS) Kutaraja yang berwawasan lingkungan. *Jurnal Kelautan dan Perikanan Indonesia*. 2(1): 31-38
- Histiari, A.R. & Yakin, K. (2021). Kajian pengaruh aktivitas industri terhadap tingkat pencemaran air laut di Kota Sorong. *Metode Jurnal Teknik Industri*. 7(1): 18-30.
- Józwiańska, K., Brodowska, N., Wójcik, M., Listosz, A., Micek, A., Marzec, M., & Pochwatka, P. (2020). The concentration of the salinity indicators in the water of the Bystrzyca River on the area of Lublin City in Poland. *Journal of Ecological Engineering*. 21 (7): 58-67. <https://doi.org/10.12911/22998993/126091>.
- Magouz, F.I., Essa, M.A., Matter, M., Mansour, A.T., Gaber, A., Ashour, M. (2021). Effect of different salinity levels on population dynamics and growth of the cyclopoid copepod *Oithona nana*. *Diversity*, 13 (5): 1–10. <https://doi.org/10.3390/d13050190>
- Maher, W., Batley G.E., & Lawrence, I. (1999). Assessing the health of sediment ecosystem: use of chemical measurements. *Freshwater Biology* 41:361-372.
- Mahmoud, M.G., El-Khir, E.A., Ebeid M.H., Mohamed, L.A., Fahmy, M.A., & Shaban, K.S. (2020). An assessment on the coastal seawater quality of the Gulf of Suez. *Egypt. Journal of Environmental Protection*. 11 (1), 34–47. DOI: 10.4236/jep.2020.111004.
- Mahvi, A.H., & Razazi, M. (2005). Application of polyelectrolyte in turbidity removal from surface water. *American Journal of Applied Science*, 2, 397-399. <http://dx.doi.org/10.3844/ajassp.2005.397.399>.
- Marois-Fiset, J.T., Carabin, A., Lavoie, A., & Dorea, C.C. (2013). Effects of temperature and pH on reduction of bacteria in a point-of-use drinking water treatment product for emergency relief. *Applied and Environmental Microbiology*. 79 (6) 2107–2109. doi: 10.1128/AEM.03696-12
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air.
- Morsy, A., Ebeid, M., Soliman, A., Halim, A.A., Ali, A.E. & Fahmy, M. (2022). Evaluation of the water quality and the eutrophication risk in Mediterranean Sea area: a case study of the Port Said Harbour, Egypt. *Environmental Challenges*. Vol. 7 (2022) 1 00484 <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100484>.
- Nasrollahi, Z., Hashemi, M.S., Bameri, S., Taghvaei, V.M. (2020). Environmental pollution, economic growth, population, industrialization, and technology in weak and strong sustainability: using STIRPAT model. *Environ. Dev. Sustainability*, 22(2): 1105-1122. DOI: 10.1007/s10668-018-0237-5.
- Power, E.A., & Chapman, P.M. (1992). Assessing Sediment Quality. In: A. Burton (Eds): *Sediment Toxicity*

- Assessment. Lewis Publishers.1-16.
- Polapa, F.S., Annisa, R.N., Yanuarita, D., Ali, S.M. (2022). Quality indeks dan konsentrasi logam berat dalam perairan dan sedimen di perairan Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 20 (2): 271-278. <https://doi.org/10.14710/jil.20.2.271-278>
- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1(078487A), 483. <http://www.jdih.setjen.kemendagri.go.id>
- Prasetijo, R. (2021). Eksposisi kualitas air laut pada Perairan Teluk Benoa, Bali. *Jurnal Kesehatan Terpadu*. 5(1): 6-13.
- Rippey B., Rose, N., Yang, H., Harrad, S., Robson, M., & Travers, S. (2007), An Assessment of Toxicity in Profundal Lake Sediment Due to Deposition of Heavy Metals and Persistent Organik Pollutants from the Atmosphere. *Environ Int.*, doi: 10.1016/j.envint.2007.03.006.
- Royan, M. R., Solim, M. H., & Santanumurti, M. B. (2019). Ammonia-eliminating potential of *Gracilaria* sp. And zeolite: a preliminary study of the efficient ammonia eliminator in aquatic environment. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 236, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.; <https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012002>
- Saraswati, S.P., Sunyoto, Kironoto, B.A., & Hadisusanto, S. (2014). Kajian bentuk dan sensitivitas rumus indeks PI, Storet, CCME untuk penentuan status mutu perairan sungai tropis Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2), 129–142. <https://doi.org/10.22146/jml.18536>.
- Sembel, L., & Manan, J. (2018). Kajian kualitas perairan pada kondisi pasang surut di Teluk Sawaibu Manokwari. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 2 (1): 1–14.
- Sulistyowati, L., Yolanda, Y., Andareswari, N. (2023). Harbor water pollution by heavy metal concentrations in sedimen. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9 (4), 1-14. <https://doi.org/10.22035/gjesm.2023.04>.
- Supardan, D., Gaffurahman, Suhirman. (2018). Analisis cemaran koliform pada sumur gali di Desa unggu Kabupaten Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. *Bioscience*. 2 (1): 41-49. DOI: 10.24036/02018219981-0-00
- Suyasa, W.B. (2015). Pencemaran air dan pengolahan air limbah. Udayana University Press.
- Tran, H., Vi, H., Dang, H., & Narbaitz, R. (2019). Pollutant removal by *Canna Generalis* in tropical constructed wetlands for domestic wastewater treatment *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3): 331-344. <https://doi.org/10.22034/GJESM.2019.03.06>
- Uddin, M.G., Nash, S., & Olbert, A.I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. 122, 107218 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.
- Verawati. (2016). Analisis kualitas air laut di Teluk Lampung. Tesis.
- Yolanda, Y., Effendi, H., & Sartono, B. (2019). Konsentrasi C-organik dan substrat sedimen di perairan Pelabuhan Belawan Medan. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan* (*Journal of Environmental Sustainability Management*), 3(2), 300–308. <https://doi.org/10.36813/jplb.3.2.300-308>.
- Zhou, M., Xia, G., li, J., Chai, L., Zhou, L.J. (2012). Analysis of factors influencing thermal conductivity and viscosity in different kinds of surfactants solutions. *Experimental*

Thermal and Fluid Science 36:22-
29.
doi:10.1016/j.expthermflusci.2011.
07.014