

Pengaruh Faktor Fisika Oseanografi terhadap Distribusi Cemar Minyak di Perairan Teluk Balikpapan

¹Sufriady Syam

¹Universitas Muhammadiyah Berau

Alamat: Jl. DR. Murjani II, Kelurahan Karang Ambon, Kecamatan Tanjung Redeb,
Kabupaten Berau, Kalimantan Timur 77315

* Email : sufriady_syam@umberau.ac.id

Received: 10 October 2023; Accepted: 27 February 2025; Published: 31 May 2025

Abstract

The many activities in Balikpapan Bay cause vulnerability of coastal ecosystems and degrade water quality, especially due to oil spills and industrial waste from the surrounding area. This will affect organisms and people who depend on Balikpapan Bay for their livelihood. Based on that, it is important to know how physical oceanographic factors affect distribution and concentration oil and control pollution Balikpapan Bay. Data processing was conducted on the parameters of currents, tides, waves and Total Petroleum Hydrocarbon (TPH). The average TPH concentration at high and low tide was analyzed using t-student test, while the significant relationship current and wave speed to TPH was analyzed using simple linear regression. The mean TPH concentration from the t-student test showed no significant difference between high tide ($0.62 \pm 0.08 \text{ ppm}$) and low tide ($0.63 \pm 0.12 \text{ ppm}$). TPH distributed during high and low tides accumulated in the bay indentation ranged from 1.00 ppm - 1.20 ppm, while the non indentation was relatively lower with concentrations $\leq 1.00 \text{ ppm}$. The tidal current velocity ranged from 0.03-0.52 m/s in the 20° - 345° direction while the ebb current ranged from 0.03-0.60 m/s in the 105° - 225° direction. Current velocity had a significant effect to distribution and accumulation of TPH both at high and low tide with correlation values -0.68 and -0.74 respectively, where the higher current velocity, lower the TPH. The regression analysis significant waves with TPH showed a negative influence with correlation value of -0.71. Wave direction from the south caused an increase TPH at the same place during high and low tide.

Keywords: Balikpapan Bay, Oceanographic Physics, Total Petroleum Hydrocarbons.

Abstrak

Banyaknya aktivitas di Teluk Balikpapan menyebabkan kerentanan ekosistem pesisir dan menurunkan kualitas perairan, terutama karena tumpahan minyak dan limbah industri dari sekitarnya. Hal ini akan berdampak pada organisme dan masyarakat yang menggantungkan hidupnya di Teluk Balikpapan. Berdasarkan hal tersebut, penting mengetahui bagaimana faktor fisika oseanografi mempengaruhi penyebaran dan konsentrasi cemaran minyak serta membantu pengendalian pencemaran di Teluk Balikpapan. Tujuan penelitian untuk mengetahui bagaimana faktor fisika oseanografi mempengaruhi cemaran minyak dan memberikan informasi distribusi cemaran minyak di perairan Teluk Balikpapan. Pengolahan data dilakukan terhadap parameter arus permukaan, pasang surut, gelombang dan *Total Petroleum Hidrocarbon* (TPH). Konsentrasi rata-rata TPH saat pasang dan surut dianalisis menggunakan uji t-student, sedangkan hubungan kecepatan arus dan gelombang signifikan terhadap TPH dianalisis menggunakan regresi linear sederhana. Konsentrasi rata-rata TPH hasil uji t-student tidak menunjukkan perbedaan nyata

antara pasang (0.62 ± 0.08 ppm) dan surut (0.63 ± 0.12 ppm). Distribusi TPH saat pasang dan surut terakumulasi pada lekukan teluk dengan kisaran 1.00 ppm – 1.20 ppm, sedangkan yang bukan lekukan teluk relatif lebih rendah dengan konsentrasi ≤ 1.00 ppm. Kecepatan arus pasang berkisar antara 0.03–0.52 m/s dengan arah 20° – 345° sedangkan saat surut berkisar 0.03–0.60 m/s dengan arah 105° - 225° . Kecepatan arus berpengaruh nyata terhadap distribusi dan akumulasi TPH baik saat pasang maupun surut dengan nilai korelasi masing-masing -0.68 dan -0.74, dimana semakin tinggi kecepatan arus, TPH semakin rendah. Hasil analisis regresi gelombang signifikan dengan TPH menunjukkan pengaruh negatif dengan nilai korelasi -0.71. Arah gelombang dari selatan menyebabkan peningkatan TPH di tempat yang sama saat pasang dan surut.

Kata kunci: Fisika Oseanografi, Teluk Balikpapan, Total Petroleum Hidrokarbon

1. Pendahuluan

Sumber daya pesisir Indonesia sangatlah penting untuk kelestarian lingkungan dengan melindungi sepenuhnya dari pencemaran minyak[1]. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa biota dan ekosistem pesisir sangat sensitif terhadap minyak[2]. Kehidupan sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat pesisir yang telah lama memanfaatkan sumber daya perairan akan terdampak oleh adanya pencemaran minyak dan mempengaruhi tampilan perairan[3].

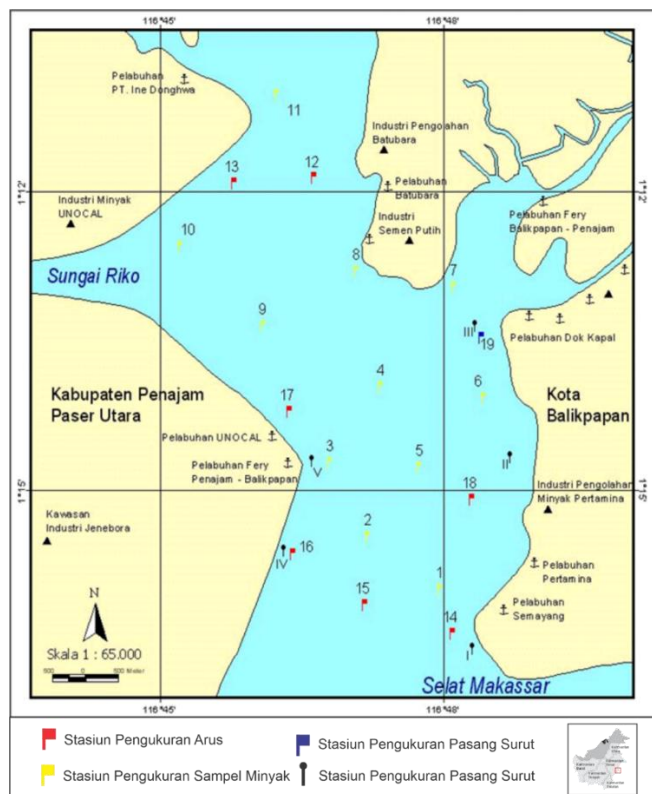
Peningkatan kebutuhan akan minyak bumi, secara signifikan memicu aktivitas eksplorasi, eksploitasi, pengelolaan, dan pengangkutan yang sebagian besar akan menghasilkan limbah cair dan padat[4]. Tumpahan minyak ke perairan laut secara langsung dan tidak langsung menyebabkan pencemaran yang berdampak pada keragaman hayati dan ekonomi sosial masyarakat[5]. Pengolahan minyak menghasilkan buangan industri yang secara tidak langsung dilepaskan ke perairan laut, sehingga tumpahan minyak dapat mencemari lingkungan[6]. Pencemaran laut yang selalu menjadi perhatian publik adalah tumpahan minyak dan bahan kimia lainnya dari perusahaan kapal sehingga merusak ekosistem laut dan bertanggung jawab atas kehidupan masyarakat di sekitar pantai. Kapal-kapal yang melewati jalur perairan Teluk Balikpapan dari dan ke pelabuhan setempat berpotensi meningkatkan pencemaran perairan akibat bahan buangan minyak dan yang tumpah di permukaan perairan. Ini dapat memengaruhi kelangsungan ekologi wilayah pesisir dan lautan[7].

Berdasarkan fakta tersebut, perlu dikumpulkan data dan informasi tentang distribusi cemaran minyak dari pengaruh faktor fisika oseanografi di perairan Teluk Balikpapan. Penelitian ini dapat membantu kebijakan pengendalian pencemaran minyak di laut.

2. Metode

2.1. Waktu dan lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni – Desember 2015 di perairan Teluk yang terletak antara Kota Balikpapan - Kabupaten Penajam Paser Utara - Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi Penelitian

2.2. Penentuan stasiun pengukuran dan pengambilan sampel

Penelitian ini mengacu pada metode *non probabilitas - purposive sampling*, stasiun pengukuran arus permukaan ditentukan sebanyak 19 stasiun. Pengambilan sampel air untuk pengukuran konsentrasi TPH sebanyak 11 stasiun menyesuaikan posisi stasiun pengukuran arus, dan parameter gelombang sebanyak 5 stasiun dengan mempertimbangkan keterwakilan topografi area penelitian.

2.3. Tahap pengolahan data

Pengolahan data oseanografi antara lain arus permukaan, pasang surut, dan gelombang, sedangkan bahan cemar yang dianalisis meliputi pengukuran konsentrasi TPH dari sampel air laut.

2.3.1. Data Pasang Surut

Data pasang surut selama 39 jam diolah dalam interval waktu 1 jam untuk pembacaan terhadap kondisi tinggi muka air pada waktu pengamatan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui tipe, kisaran pasang surut, serta tinggi muka air rata-rata (MSL) yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui tipe sirkulasi air harian dari kisaran pasang surut terhadap cemar minyak yang terbawa di permukaan air[8].

2.3.2. Data arah dan kecepatan arus permukaan

Pengukuran arah dan kecepatan arus dilakukan saat pasang dan surut menggunakan *recording current meter* dan kompas geologi yang diarahkan menuju gerakan arus. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ke arah mana arus bergerak dan mendistribusikan cemaran minyak[8].

2.3.3. Pengukuran Gelombang

Tinggi ombak diukur dengan menggunakan tiang skala sedangkan perhitungan arah datang dan periode gelombang menggunakan kompas dan stopwatch dengan mencatat setiap puncak dan lembah gelombang yang melintas dalam interval waktu 2 menit[8]. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengadukan kolom air oleh gelombang terhadap pendistribusian cemaran minyak dan mengetahui kemungkinan timbulnya arus oleh gelombang yang membawa minyak terdistribusi.

2.3.4. Pengambilan data minyak

Data minyak diambil dari sampel air tiap stasiun menggunakan *water sampler* yang ditenggelamkan sedalam 30 cm. Sampel air kemudian dituang ke dalam botol gelap 500 ml dan dianalisis di laboratorium[9].

2.3.5. Penentuan konsentrasi TPH

Konsentrasi TPH diketahui melalui alat *Infracal TPH Analyzer* dengan menganalisis sampel air laut yang diekstraksikan dengan larutan Freon.

2.4. Analisis data

2.4.1. Parameter oseanografi

1) Kecepatan Arus

$$V = \frac{S}{t} \quad [8]$$

Keterangan :

V = Kecepatan arus (m/s)

S = Jarak yang ditempuh (m)

t = Waktu yang digunakan (s)

2) Pasang Surut

Metode Filter X_0 (*Filter Doodson*) dengan batasan $1 > t > 19$

$$X_T = \frac{1}{30} \sum_{d=-19}^{d=19} F(d)H(T+d), d \neq 0 \quad [8]$$

$F(t) = (2, 1, 1, 2, 0, 1, 1, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1)$

Keterangan : $H(t)$ = Elevasi muka laut (m)

T = Jam 12.00

3) Gelombang

Tinggi Ombak (H) = Puncak – Lembah

$$T = \frac{t}{n} \quad [8]$$

$$T_s = 1,1 \times T \quad [8]$$

$$H_{\frac{1}{3}} = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} H_i}{N/3} \quad [8]$$

Keterangan :

$H_{1/3}$ = Nilai rata-rata dari 1/3 jumlah gelombang terbesar (m)

T = Periode ombak (s)

t = Waktu yang digunakan (s)

n = Banyaknya ombak (tanpa satuan)

T_s = Periode ombak signifikan (s)

2.4.2. Parameter minyak

Analisis sampel menggunakan *Infracal TPH Analyzer*, diperoleh data berupa nilai konsentrasi minyak, dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kandungan Minyak (ppm)} = \frac{V_f \times F_p \times R}{V_s} \quad [10]$$

Keterangan :

R = Angka yang ditunjukkan oleh alat (tanpa satuan)

F_p = Faktor Pengencer (diperoleh dari hasil bagi antara volume labu ukur dengan volume pipet ukur)

V_f = Volume Freon (ml)

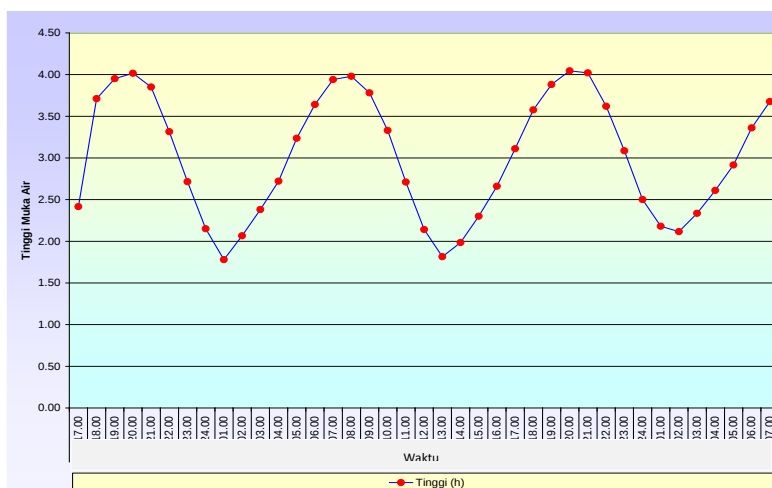
V_s = Volume Sampel (ml)

Perbedaan konsentrasi rata-rata TPH antara pasang dan surut dianalisis dengan menggunakan uji *t-student*, sedangkan hubungan kecepatan arus dan TPH dianalisis menggunakan analisis regresi linear sederhana. Semua analisis statistik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Hubungan parameter fisika oseanografi terhadap TPH dianalisis secara deskriptif dengan bantuan tabel, grafik, dan gambar peta. Tabel dan grafik disajikan melalui *microsoft excel* sedangkan gambar peta diolah melalui program *Surfer* dan *Arc View*.

3. Hasil Penelitian

3.1. Pasang surut

Berdasarkan data pasang surut, didapatkan pasang tertinggi adalah 4.05 meter dan surut terendah yaitu 1.78 meter. Dari hasil tersebut didapatkan selisih antara pasang tertinggi dan surut terendah adalah 2.27 meter.



Gambar 2. Grafik pasang surut air Teluk Balikpapan

3.2. Arus Pasang dan Surut

Tabel 1. Data arah dan kecepatan arus saat pasang dan surut

Stasiun	Titik lokasi		Pasang		Surut	
			Arah (°)	Kecepatan arus (m/s)	Arah (°)	Kecepatan arus (m/s)
	S	E				
1	116.79939	-1.26650	345	0.46	200	0.43
2	116.78668	-1.25757	300	0.44	200	0.60
3	116.78011	-1.24519	40	0.30	135	0.14
4	116.78905	-1.23258	45	0.23	125	0.27
5	116.79584	-1.24602	340	0.23	205	0.33
6	116.80713	-1.23434	20	0.09	105	0.10
7	116.80187	-1.21585	65	0.07	172	0.08
8	116.78473	-1.21314	345	0.17	125	0.12
9	116.76825	-1.22228	65	0.28	162	0.14
10	116.75357	-1.20907	85	0.32	138	0.38
11	116.77052	-1.18363	30	0.11	160	0.13
12	116.77706	-1.19762	25	0.17	156	0.12
13	116.76296	-1.19850	50	0.31	105	0.18
14	116.80161	-1.27389	320	0.52	155	0.60
15	116.78603	-1.26915	280	0.43	225	0.60
16	116.77331	-1.26064	50	0.43	162	0.60
17	116.77278	-1.23672	30	0.38	140	0.20
18	116.80493	-1.25145	35	0.21	154	0.13
19	116.80665	-1.22437	90	0.03	185	0.03

Tabel 1 menunjukkan kecepatan arus 0.025 m/s – 0.60 m/s dengan arah 105° – 225° . Seperti halnya saat pasang, nilai kecepatan arus tertinggi diperoleh di stasiun 14 (area stasiun 1 pengambilan sampel minyak) dan terendah di stasiun 19 (area antara stasiun 6 dan 7 pengambilan sampel minyak). Arah dan kecepatan arus surut menggambarkan pola arus yang cenderung mengarah ke luar teluk menuju selat Makassar dengan rata-rata kecepatan arus 0.27 m/s (Gambar 7).

3.3. Gelombang

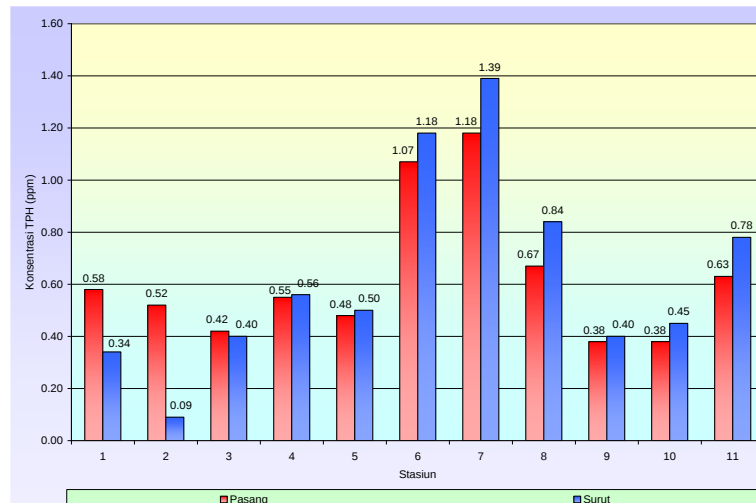
Tabel 2. Hasil pengukuran gelombang saat pasang dan surut

No. Stasiun	Posisi		Pasang			Surut		
			H 1/3 (m)	T (s)	Arah datang Gelombang ($^{\circ}$)	H 1/3 (m)	T (s)	Arah datang Gelombang ($^{\circ}$)
I	116.80131	-1.26770	0.19	4.44	320	0.21	3.75	320
II	116.80968	-1.24697	0.18	5.00	12	0.21	4.44	6
III	116.80612	-1.22309	0.10	5.00	5	0.15	4.80	5
IV	116.77178	-1.25995	0.22	3.75	315	0.23	3.87	290
V	116.77681	-1.24487	0.14	5.00	345	0.21	4.14	116

Tabel 2 memperlihatkan tinggi gelombang saat surut di stasiun IV yakni 0.23 meter dimana posisi stasiun terletak di mulut teluk dan terendah di stasiun III yakni 0.15 meter yang terletak di bagian dalam teluk. Periode gelombang meningkat di stasiun I yakni 3.75 detik dan menurun di stasiun III yakni 4.80 detik. Hal ini menunjukkan pengaruh topografi teluk terhadap fenomena gelombang pada posisi stasiun yang berbeda.

3.4. Total Petroleum Hidrocarbon (TPH)

Konsentrasi TPH saat pasang berkisar antara 0.38-1.18 ppm dengan rata-rata 0.62 ppm, tertinggi diperoleh di stasiun 7 dan terendah di stasiun 9 dan 10. Saat surut, diperoleh konsentrasi TPH 0.09-1.39 ppm dengan rata-rata 0.63 ppm. Konsentrasi TPH tertinggi saat surut diperoleh di stasiun 7 dan terendah di stasiun 2 (Gambar 3).



Gambar 3. Konsentrasi TPH saat pasang dan surut

4. Pembahasan

4.1. Kondisi umum lokasi penelitian

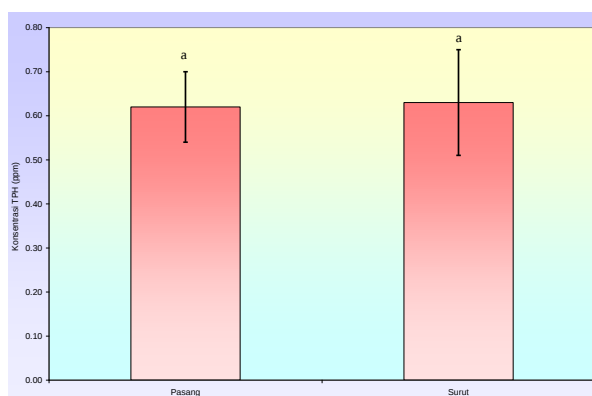
Secara geografis Teluk Balikpapan memiliki luas 116.96 km² berada di bagian tenggara Provinsi Kalimantan Timur, terletak di antara Kota Balikpapan, Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kutai Kartanegara. Teluk Balikpapan memiliki panjang garis pantai 79,6 km dari barat ke timur dengan kedalaman air antara 5-20 meter. Di sebelah timur merupakan mulut teluk yang lebarnya 10,4 km, berhadapan langsung dengan selat Makassar[11]. Wilayah pesisir Teluk Balikpapan telah berfungsi sebagai pusat ekonomi daerah sekitar. Keberadaan operasional industri kayu, pengolahan minyak mentah, galangan kapal, semen putih, terminal batu bara, pelabuhan Feri dan beberapa dermaga kapal rakyat menandai tingginya rutinitas transportasi di Teluk Balikpapan. Kondisi ini dipengaruhi pula oleh keberadaan pemukiman di sepanjang pesisir Teluk Balikpapan dengan berbagai aktifitas perikanan menyebabkan kerentanan ekosistem pesisir dan memungkinkan terjadinya degradasi lingkungan dari akumulasi pencemaran[12].

Maharani, dkk. (2022) menyatakan bahwa untuk memprediksi arah sebaran tumpahan minyak, parameter oseanografi diperlukan. Data yang biasanya digunakan termasuk peta dasar, volume tumpahan minyak, arah dan kecepatan angin, serta data arus. Data yang sudah terkumpul akan ditabulasi ke dalam perangkat lunak bersama dengan profil tumpahan minyak. Hasilnya akan menunjukkan ke mana minyak tumpah di wilayah perairan dan memprediksi jumlah minyak yang tumpah secara keseluruhan[13]. Faktor-faktor oseanografi mengakibatkan tumpahan minyak semakin meluas, jika tidak ditangani segera dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan dan sosial[14].

4.2. Pasang Surut

Pola sebaran tumpahan minyak mentah (crude oil) mengikuti pola pergerakan arus pasang surut. Ketika minyak masuk ke lingkungan laut, maka akan mengalami proses penyebaran (spreading) yang dipengaruhi oleh kondisi fisik perairan salah satunya arus pasang surut[15]. Kisaran pasang surut di Indonesia rata-rata antara 1 hingga 3 meter, dihitung dari perbedaan tinggi air pasang maksimum dengan tinggi air surut minimum[16]. Ketika dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama terjadi dalam satu hari secara teratur, maka tipenya disebut pasang surut semi-diurnal[17]. Teluk Balikpapan memiliki pasang surut tipe harian ganda, dimana air akan lebih sering bergerak naik turun[18]. Ini memungkinkan cemaran minyak terdistribusi dan terakumulasi di area tertentu[19] dan menunjukkan sirkulasi air harian turun naik/bolak-balik. Misalnya, ketika muka air bergerak naik, air mengalir ke dalam, tetapi ketika muka air bergerak turun, air mengalir keluar[20].

Gambar 3 menunjukkan terjadinya akumulasi TPH dengan konsentrasi tinggi di stasiun 7, berada di lekukan teluk dengan topografi semi tertutup sehingga cemaran minyak tertahan dan terakumulasi akibat kurangnya sirkulasi air. Konsentrasi TPH terendah di stasiun 9 dan 10 disebabkan dipengaruhi oleh aliran sungai yang berperan sebagai faktor pengencer yang memindahkan cemaran minyak ke tempat lain. Sistem perairan akan memindahkan dan mengencerkan zat-zat cemaran kimia sejauh mana air bergerak[21]. Tingginya konsentrasi TPH di stasiun 7 menunjukkan terjadi akumulasi TPH seperti halnya saat pasang. Stasiun 2 memiliki nilai terendah karena posisi stasiun berada di mulut teluk dengan kecepatan arus kuat sehingga cemaran minyak bergerak cepat dan mengalami penurunan konsentrasi. Ini menandakan bahwa cemaran minyak hanya bersirkulasi dalam teluk saja dengan input bahan buangan yang tetap[12].



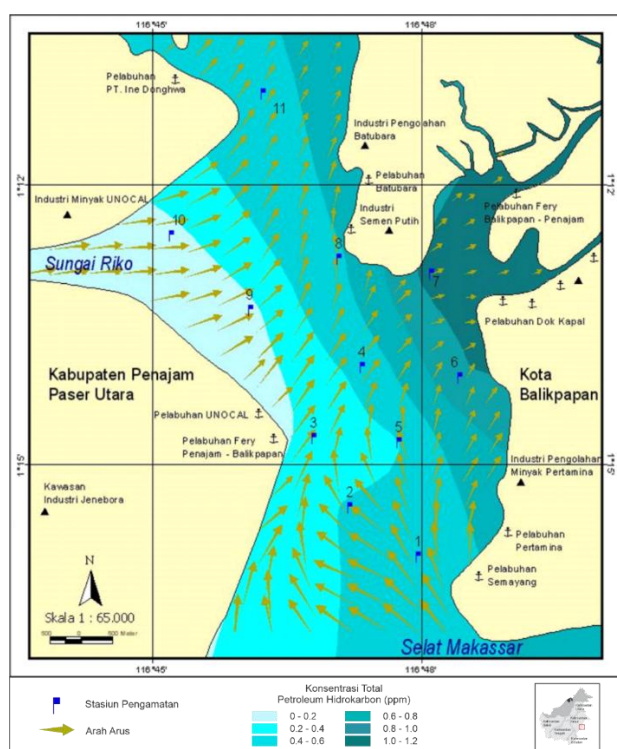
Gambar 4. Konsentrasi rata-rata TPH saat pasang dan surut (Huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan pada taraf $\alpha = 0.05$)

Hasil uji t-student terhadap konsentrasi rata-rata TPH saat pasang dan surut (Gambar 4), menunjukkan tidak terdapat perbedaan konsentrasi rata-rata TPH saat pasang dan surut

($P > 0.05$). Artinya, di Teluk Balikpapan saat pasang maupun surut mengakumulasi cemaran minyak dengan konsentrasi yang relatif sama. Hal ini dipengaruhi topografi teluk yang semi tertutup dimana distribusi cemaran minyak hanya bersikulasi dalam teluk saja[12].

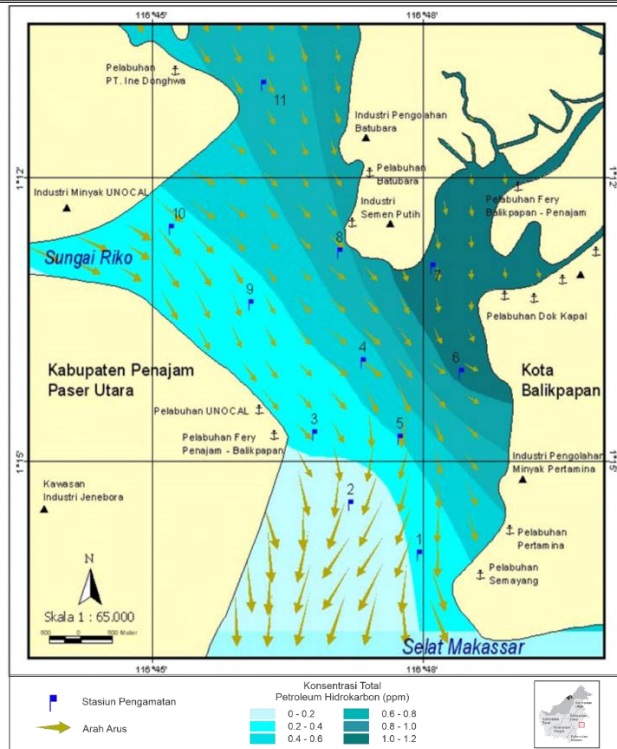
4.3. Arus Permukaan

Selain berfungsi sebagai data pendukung, kecepatan dan arah arus permukaan laut memberikan deskripsi dinamika arus permukaan laut dan perbandingan karakteristiknya selama berbagai musim dan lokasi [22]. Berdasarkan hasil overlay (Gambar 5), stasiun 1 dan 2 saat pasang menggambarkan pola arus kuat menuju ke dalam teluk (Barat Laut) dan dipengaruhi arus mulut teluk. Cemaran minyak di area ini mengalami proses distribusi yang lebih cepat. Kecepatan arus dari sungai turut berpengaruh kuat di sekitar stasiun 9 dan 10 membelok ke arah timur laut dan mampu menggerakkan cemaran minyak menuju daerah yang berarus lemah.



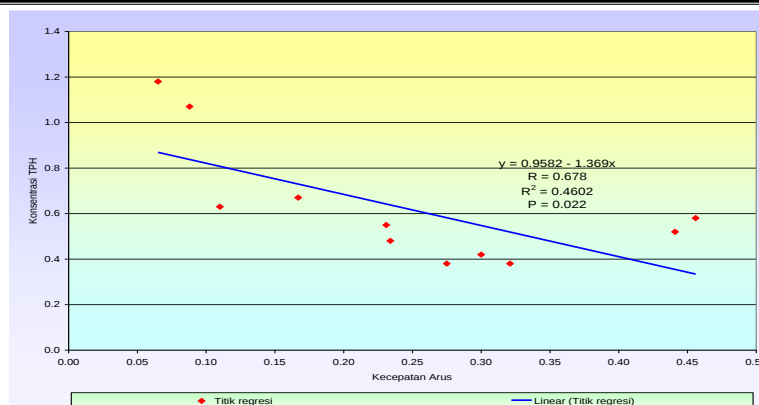
Gambar 5. Peta overlay arah dan kecepatan arus dan distribusi cemaran minyak saat pasang

Poses pengenceran saat pasang tidak terjadi di stasiun 1 dan 2, konsentrasi TPH lebih tinggi dibanding saat surut. Hal ini diduga karena arus saat pasang membawa limbah masuk menuju teluk mengikuti sirkulasi air. Hal ini terbukti di stasiun 1 dan 2 di mulut teluk, memiliki konsentrasi TPH yang tinggi.



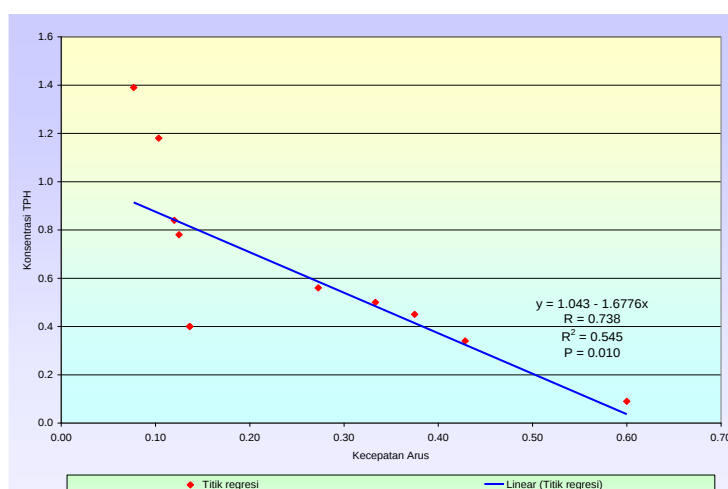
Gambar 6. Peta overlay arah dan kecepatan arus dengan distribusi cemaran minyak saat surut. Konsentrasi TPH di stasiun 1, 2, 3, dan 5 tergolong rendah dibanding stasiun lain disebabkan oleh tingginya kecepatan arus di area ini sehingga partikel terdispersi lebih cepat dibanding area yang berarus lemah[23]. Arus lemah di stasiun 6 dan 7 dipengaruhi oleh topografi teluk yang semi tertutup. Hasil analisis sampel air baik saat pasang maupun surut menghasilkan TPH yang sama, sehingga arah dan kecepatan arus di sekitar stasiun tersebut tidak menyebabkan perbedaan terhadap konsentrasi TPH. Kondisi ini sesuai fakta bahwa di perairan pantai, utamanya di teluk atau selat sempit, gerakan naik turunnya muka air akan menimbulkan arus pasang surut yang arahnya kurang lebih bolak-balik[24].

Dalam melihat pengaruh kecepatan arus terhadap distribusi cemaran minyak saat pasang dan surut, digunakan metode analisis statistik melalui regresi linear sederhana, yang dinyatakan dalam persamaan matematik $y = a + bx$ antara variabel bebas (kecepatan arus) terhadap variabel tak bebas (konsentrasi TPH)[9].



Gambar 7. Grafik hubungan kecepatan arus terhadap distribusi konsentrasi minyak saat pasang. Hasil analisis regresi antara kecepatan arus dengan konsentrasi TPH saat pasang menunjukkan hubungan yang nyata ($P = 0.022$ dan $R = 0.678$), diperoleh hubungan bersifat negatif ($y = 0.9582 - 1.369x$) sehingga apabila kecepatan arus meningkat, maka konsentrasi TPH menurun, begitupun sebaliknya. Kecepatan arus akan mendistribusikan cemaran minyak secara horisontal pada permukaan laut atau bercampur ke dalam lapisan air di bawahnya[25]. Minyak yang tumpah ke laut akan ditransportasikan atau diadvaksikan oleh arus meninggalkan tempatnya[26]. Dengan demikian, menurunnya konsentrasi TPH disebabkan pengaruh kecepatan arus yang menyebarkan cemaran minyak ke area lain, sehingga di area semula konsentrasinya menurun.

Hasil analisis regresi linear sederhana antara kecepatan arus dengan konsentrasi TPH saat surut menunjukkan hubungan yang nyata ($P = 0.01$ dan $R = 0.738$), menunjukkan hubungan bersifat negatif ($y = 1.043 - 1.6776x$) yang berarti bahwa apabila kecepatan arus meningkat, maka konsentrasi TPH menurun, begitupun sebaliknya. Arus permukaan mempunyai pengaruh paling besar dalam pendistribusian maupun pencampuran partikel dalam air laut[12].



Gambar 8. Grafik hubungan kecepatan arus terhadap distribusi konsentrasi minyak saat surut

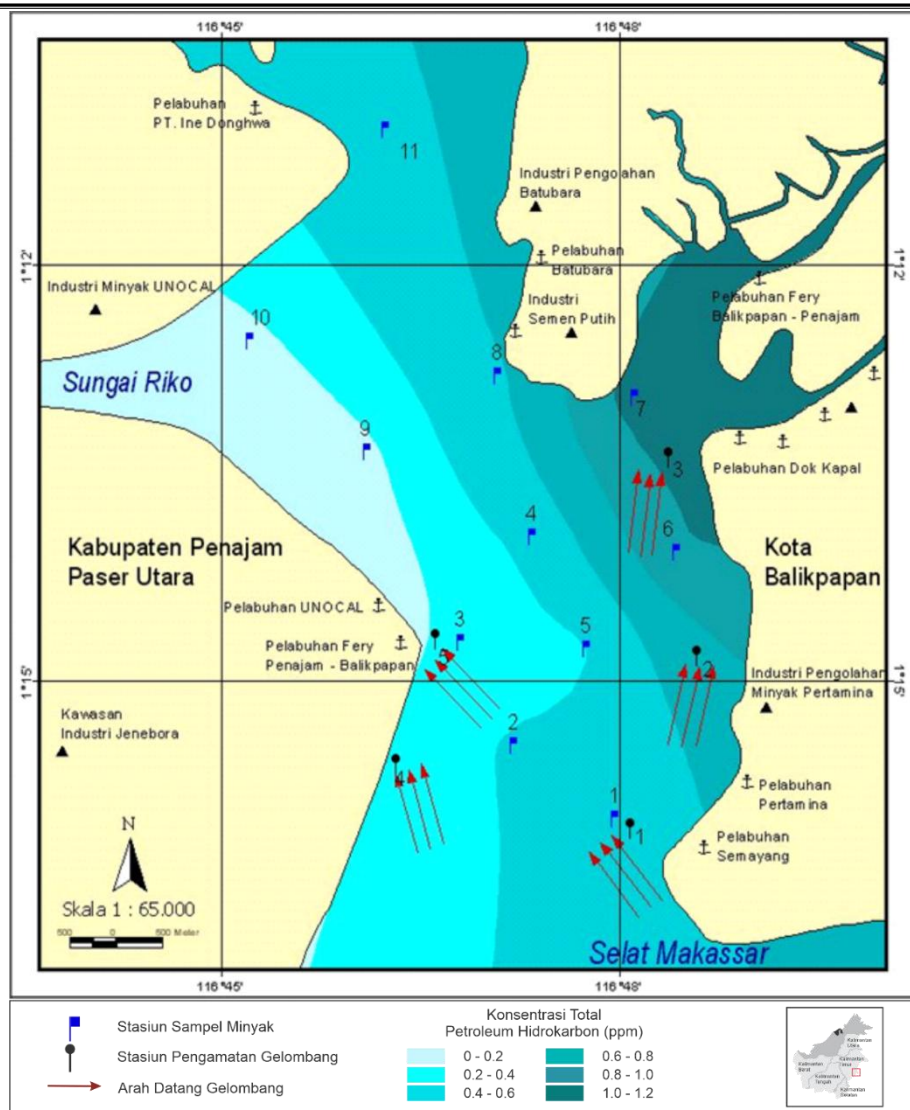
Saat kondisi surut, arus akan membawa limbah dari hulu ke luar Teluk Balikpapan yang menyebabkan konsentrasi TPH meningkat di area teluk yang berarus lemah. Terbukti bahwa konsentrasi TPH saat surut terutama di stasiun 7 dengan konsentrasi 1.39 ppm sedikit lebih tinggi dibanding saat pasang yakni hanya 1.18 ppm.

4.4. Gelombang

Arah dan kecepatan hembusan angin mengubah kecepatan pergerakan dan luas area tumpahan minyak semakin besar dari waktu ke waktu[27]. Peta arah datang gelombang saat pasang (Gambar 9) menunjukkan area sekitar stasiun IV mengalami turbulensi, sehingga cemaran minyak di sekitarnya lebih cepat terdispersi[28].

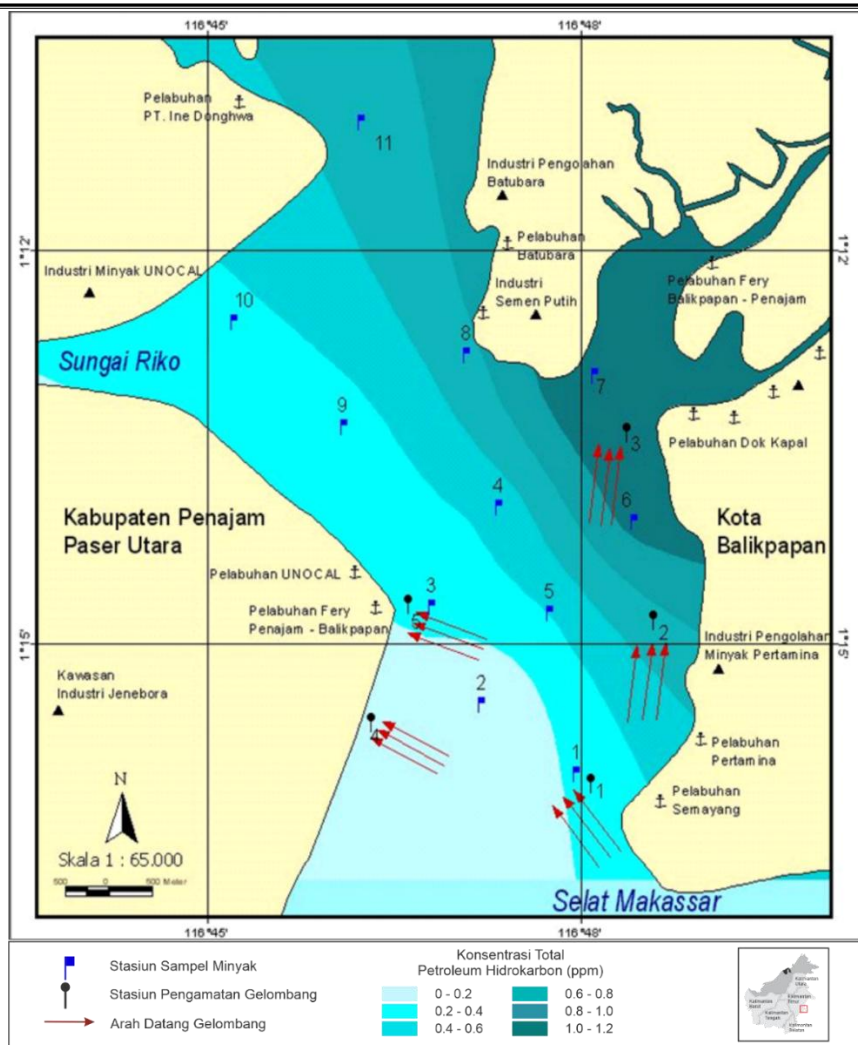
Hasil pengukuran gelombang terendah diperoleh di stasiun III yakni 0.10 meter dengan periode gelombang 5 detik. Area ini berada di antara stasiun 6 dan 7 dengan konsentrasi TPH tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan gelombangnya tergolong lemah karena posisi stasiun berada di area teluk bagian dalam yang sempit sehingga gelombang disekitarnya cenderung tidak mendistribusi cemaran minyak[29].

Gelombang terbentuk dari muara teluk dan bergerak memasuki Teluk Balikpapan. Kondisi ini sesuai dengan data angin harian Kota Balikpapan saat pengambilan data gelombang, angin berhembus dari selatan dan menimbulkan arus susur pantai, arus menuju pantai, atau arus tolak pantai yang berkaitan langsung dengan aksi ombak[30]. Arus akan bergerak mendistribusikan cemaran minyak di area-area tertentu dimana pengaruh gelombang lemah dalam melakukan pengadukan kolom air seperti di area sekitar stasiun 6 dan 7.



Gambar 9. Peta arah datang gelombang yang dioverlay dengan distribusi minyak saat Pasang.

Proses pengadukan, pergerakan, serta percampuran kolom air lebih banyak terjadi saat kondisi surut yang mengindikasikan bahwa cemaran minyak yang terdistribusi oleh gelombang akan lebih besar potensi penyebarannya dibanding saat pasang. Cemaran minyak teraduk oleh gelombang kemudian lapisan minyak akan menghilang dari permukaan laut (terdispersi) karena mengalami proses turbulensi[31]. Oleh karena itu tinggi gelombang saat surut ($\bar{X} = 0.20$ meter) lebih berpotensi mendistribusikan cemaran minyak dibanding saat pasang ($\bar{X} = 0.17$ meter).



Gambar 10. Peta arah datang gelombang yang dioverlay dengan distribusi cemaran saat surut

Gelombang yang terbentuk dari hembusan angin dari selatan atau dari luar teluk saat pasang maupun surut (gambar 10), menunjukkan kesesuaian dengan data angin harian bulan agustus yang menyatakan bahwa rata-rata hembusan angin berasal dari arah selatan. Hal inilah yang diduga merupakan salah satu penyebab konsentrasi TPH baik pasang maupun surut relatif sama.

5. Kesimpulan

1. Konsentrasi rata-rata TPH tidak menunjukkan perbedaan yang nyata antara pasang (0.62 ± 0.08 ppm) dan surut (0.63 ± 0.12 ppm).
2. Distribusi TPH saat pasang dan surut terkonsentrasi di daerah lekukan Teluk Balikpapan dengan kisaran 1.00 ppm – 1.20 ppm, sedangkan yang bukan daerah lekukan relatif lebih rendah dengan konsentrasi ≤ 1.00 ppm.
3. Kecepatan arus sangat berpengaruh nyata terhadap distribusi dan akumulasi konsentrasi TPH baik saat pasang maupun surut dengan nilai korelasi masing-masing -0.68 dan -0.74.

4. Tinggi gelombang signifikan sangat berpengaruh nyata terhadap konsentrasi TPH dengan nilai korelasi -0.71.

Daftar Pustaka

- [1] I. D. Agusthin, "Mitigasi Penanggulangan Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut Kepulauan Riau Berdasarkan Law Of The Sea Convention," vol. 1, no. 2, 2024.
- [2] P. V. Nur Afif Annisa, "Analisis Dampak Lingkungan Wilayah Pesisir Akibat Tumpahan Oil Spill di Karawang," May 2024, doi: 10.5281/ZENODO.11261952.
- [3] Z. Pinto, "Kajian Perilaku Masyarakat Pesisir yang Mengakibatkan Kerusakan Lingkungan (Studi Kasus di Pantai Kuwaru, Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Provinsi DIY)," *JWL*, vol. 3, no. 3, p. 163, Jun. 2016, doi: 10.14710/jwl.3.3.163-174.
- [4] Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi and Y. Hedar, "Analisis Air Sungai Penerima Air Limbah Penambangan Minyak Bumi secara Tradisional pada Sumur Tua di Desa Wonocolo Kabupaten Bojonegoro," *mz*, vol. 3, no. 2, Nov. 2021, doi: 10.37525/mz/2021-2/279.
- [5] R. Abbas and S. Saputra, "Valuasi Ekonomi Ekosistem Terdampak Tumpahan Minyak Di Kota Balikpapan," *JPLT*, vol. 10, no. 2, pp. 234–239, Jun. 2022, doi: 10.35800/jplt.10.2.2022.54997.
- [6] H. Poerwanto, P. Sahardo, R. T. H. Simanjuntak, T. Y. Kusumawati, T. Primagani, and W. R. Pandiangan, "Prosedur Penanggulangan Dan Beban Pertanggungjawaban Akibat Tumpahan Minyak Di Laut Tier-3".
- [7] S. E. Darza, "Dampak Pencemaran Bahan Kimia Dari Perusahaan Kapal Indonesia Terhadap Ekosistem Laut," vol. 4, no. 3, 2020.
- [8] A. D. Witantono, "Survei Batimetri Dan Pasang Surut Untuk Perawatan Kolam 1 Pelabuhan Tanjung".
- [9] M. Ardiansyah, A. Suryanto, and H. Haeruddin, "Hubungan Konsentrasi Minyak Dan Fenol Dengan Kelimpahan Fitoplankton Di Sungai Asem Binatur, Kota Pekalongan," *Manage. Aqua. Resourc.J*, vol. 6, no. 1, pp. 95–102, Mar. 2018, doi: 10.14710/marj.v6i1.19816.
- [10] Z. A. Mas'ud, A. Syahreza, and A. S. Purwadayu, "Profil Kelarutan Limbah Minyak Bumi Dalam Air Akibat Pengaruh Surfaktan Nonionik Dan Laju Pengadukan," *November*, vol. 2, no. 2, 2009.

- [11] R. G. Harahap, D. L. Putri, and N. Nurmawati, "Studi Laju Sedimentasi Teluk Balikpapan Menggunakan Model Hidrodinamika," *JIKK*, vol. 4, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.33387/jikk.v4i2.3987.
- [12] S. Syam, "Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Terbentuknya Sedimen di Muara Sungai Kota Balikpapan," *Jurnal EnviScience (Environment Science)*, vol. 6, no. 2, pp. 124–136, Sep. 2022, doi: 10.30736/6ijev.v6iss2.366.
- [13] N. T. Maharani, A. Setiawan, and M. A. Z. Fuad, "Pemodelan tumpahan minyak (oil spill) pada perairan Kepulauan Riau menggunakan perangkat lunak general NOAA oil modelling environment (GNOME)," *JIKK*, vol. 5, no. 1, Jun. 2022, doi: 10.33387/jikk.v5i1.4856.
- [14] M. D. Firmansyah, A. Ismanto, S. Y. Wulandari, R. Widiaratih, A. Rifai, and W. Atmodjo, "Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak di Perairan Karawang, Jawa Barat," *Bul. Oseano. Mar.*, vol. 10, no. 2, pp. 200–212, May 2021, doi: 10.14710/buloma.v10i2.31736.
- [15] T. A. Tarigan, I. B. Prasetyawan, and S. Y. Wulandari, "Studi Pola Sebaran Tumpahan Minyak Dengan Aplikasi Model Hidrodinamika Dan Spill Analysis Menggunakan Software Mike 21 Di Perairan Selat Rupat, Provinsi Riau".
- [16] R. M. Rampengan and P. Dahulua, "Tunggang Air Pasang Surut Dan Muka Laut Rata-Rata Di Perairan Sekitar Kota Bitung, Sulawesi Utara," 2013.
- [17] T. Pasomba', M. I. Jasin, and T. Jansen, "Analisis Pasang Surut Pada Daerah Pantai Tobololo Kelurahan Tobololo Kota Ternate Provinsi Maluku Utara," 2019.
- [18] E. Supriyadi and W. S. Pranowo, "Analisis Pasang Surut Di Perairan Pameungpeuk, Belitung, Dan Sarmi Berdasarkan Metode Admiralty," vol. 19, no. 1, 2018.
- [19] A. Rahayu and A. Daud, "Analisis Risiko Kadmium Dalam Kerang Darah Pada Masyarakat Di Wilayah Pesisir Kota Makassar".
- [20] R. Pasaribu, A. Kabul Pranoto, A. Rahman, and D. Ayu, "Pemodelan Pola Arus Pasang Surut Menggunakan Mike 21 Di Perairan Jakarta - Cirebon," *MJ*, vol. 16, no. 1, pp. 20–30, Jun. 2024, doi: 10.56064/maspari.v16i1.9.
- [21] A. T. Dianto, "Skripsi Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Dan Kelautan," 2014.
- [22] A. Anwar Saputro, Z. Hidayah, and H. Wirayuhanto, "Pemodelan Dinamika Arus Permukaan Laut Alur Pelayaran Barat Surabaya," *JK*, vol. 16, no. 1, pp. 88–100, Apr. 2023, doi: 10.21107/jk.v16i1.18269.

- [23] M. F. Murtadho, “Program Studi Biologi Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang,” 2023.
- [24] A. C. A. Asri, A. A. D. Suryoputro, and W. Atmodjo, “Studi Karakteristik Arus Laut Di Perairan Marunda, Jakarta Utara”.
- [25] F. A. P. Panjaitan, S. Y. Wulandari, G. Handoyo, and G. Harsono, “Identifikasi dan Stratifikasi Massa Air di Laut Sulawesi,” *Indonesian Journal of Oceanography*, vol. 3, no. 3, pp. 322–331, Sep. 2021, doi: 10.14710/ijoce.v3i3.12255.
- [26] J. Hermana, “Simulasi Sebaran Tumpahan Minyak Di Perairan Dumai, Pt Caltex Pacific Indonesia”.
- [27] N. Millah, I. Anggriani, and K. Nugraheni, “Simulasi Pergerakan Tumpahan Minyak di Laut dengan Pengaruh Angin,” *sjt*, vol. 3, no. 3, pp. 11–19, Dec. 2019, doi: 10.35718/specta.v3i2.67.
- [28] A. Widhayanti, A. Ismanto, and B. Yulianto, “Sebaran Tumpahan Minyak Dengan Pendekatan Model Hidrodinamika Dan Spill Analysis Di Perairan Cilacap, Jawa Tengah”.
- [29] R. M. R. R. Akbar, W. R. Melani, and T. Apriadi, “Indeks Pencemaran Muara Sungai Jodoh, Kota Batam,” *J. Mar. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 119–130, Apr. 2020, doi: 10.14710/jmr.v9i2.26613.
- [30] A. W. Patta, “Program Sarjana Arsitektur Jurusan Teknik Arsitektur Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar 2011”.
- [31] U. J. Wisna, T. Al Tanto, W. Pranowo, S. Husrin, G. Kusumah, and A. Maryono, “Numerical Simulation of Ocean Wave Using High-Order Spectral Modeling Techniques: Its Influence on Transport Sediment in Benoa Bay, Bali, Indonesia,” *omni.akua*, vol. 15, no. 2, p. 20, Nov. 2019, doi: 10.20884/1.oa.2019.15.2.554.