

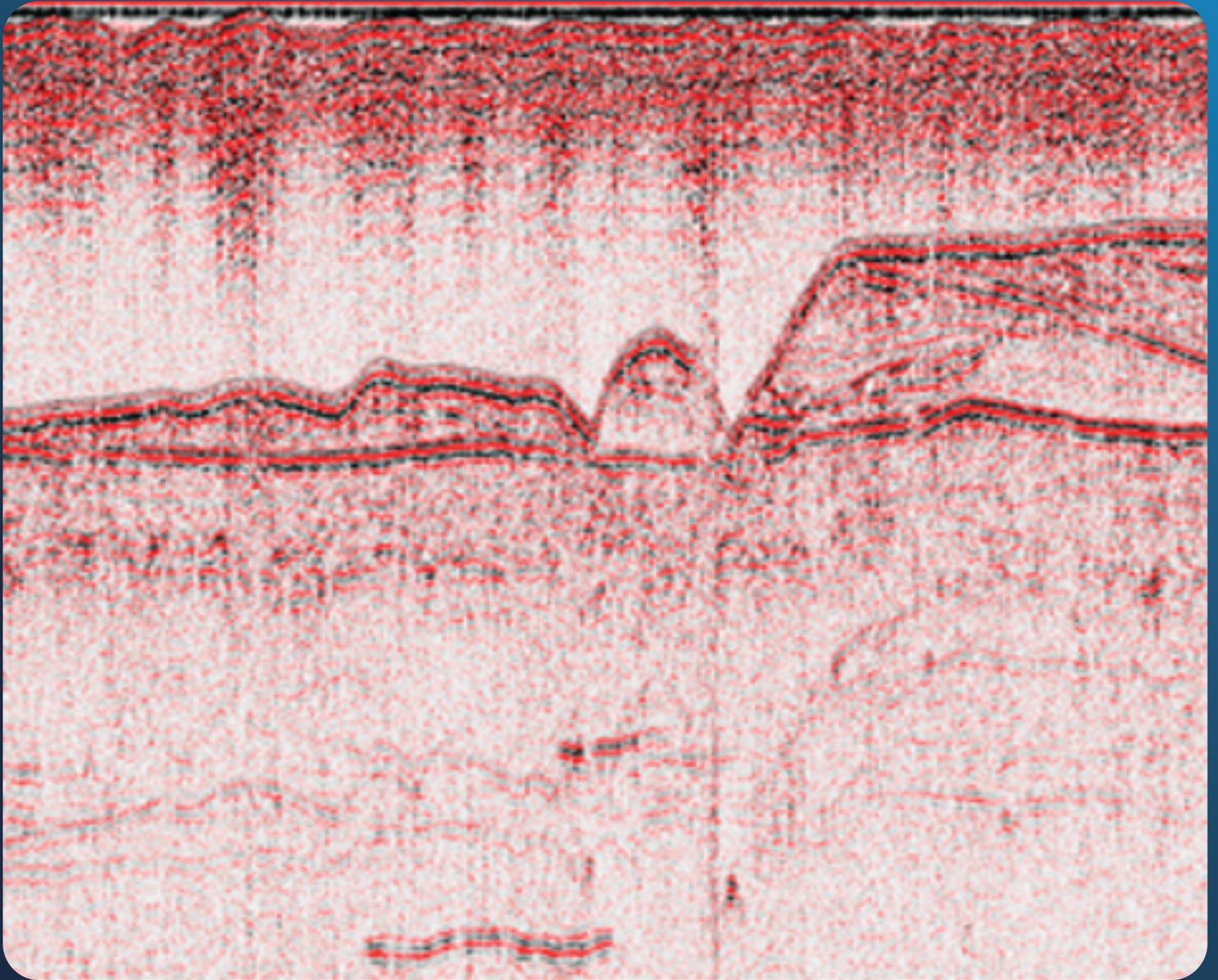


JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

MEDIA HASIL PENELITIAN GEOLOGI KELAUTAN

Volume 22, No. 1, Juni 2024

ISSN : 1693- 4415



KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
BADAN GEOLOGI
BALAI BESAR SURVEI DAN PEMETAAN GEOLOGI KELAUTAN

JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

VOL. 22

NO. 1

HAL. 1 - 80

**BANDUNG
JUN. 2024**

**ISSN
1693-4415**

ISSN 1693-4415



9 771693 441579

Terakreditasi sebagai Majalah
Ilmiah berdasarkan Keputusan
Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kemenristekdikti No. 200/M/KPT/2020
Tanggal 23 Desember 2020



JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

MEDIA HASIL PENELITIAN GEOLOGI KELAUTAN

Vol. 22, No. 1, Juni 2024

ISSN : 1693-4415

Penanggungjawab : Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan

Dewan Redaksi

Ketua : Ir. Deny Setiady, M.T.

Wakil Ketua : Ir. Imelda Rosalia Silalahi

Anggota : Ir. Purnomo Rahardjo, M.T.
Nineu Yuyu Geurhaneu, S.Si., M.T.
Subarsyah, S.Si., M.T.
Ir. Immaculata Christiana, M.T.
FX. Harkins H. Prabowo, S.T., M.T.
Yani Permanawati, S.T., M.Si.
Fauzi Budi Prasetyo, S.T., M.T.
Irwan Hidayat Suherman, S.Si.
Ali Albab, S.T.
Agus Setyanto, S.T., M.Eng.
Ir. Joni Widodo, M.Si.
Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T.
Rini Fahmita, S.T.

Mitra Bestari : Dr. Ir. Widodo Setyo Pranowo - BRIN
Dr. Ir. Susilohadi - BRIN
Dr. Basuki Rahmad - UPN "Veteran" Yogyakarta
Dr. Tri Muji Susantoro, S.T., M.Sc. - BRIN
Drs. Lukman Arifin, M.Si. - BRIN

Sekretariat Redaksi

Ketua : Edi Suhanto, S.Si., M.T.

Wakil Ketua : Bakti Nata Kusumah, S.Si.

Anggota : Drs. Judy Muliawan Eddy
Ramawarist Ramzani, S.H.
Nanang Suryana
Widya Anindita, S.Kom.
Muhammad Abdillah Islamy, S.Pd.
Dwinanda Pratya Annisa Murni, S.Pd.

Desain Grafis : Dery Rochiman, A.Md.

Diterbitkan secara teratur 2 kali dalam setahun (Juni dan November)
Oleh : Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan

ALAMAT REDAKSI

Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan
Jalan Dr. Junjuna 236, Bandung-40174, Indonesia
Telepon : 022-6032020, 6032201, Ext 268, Fax : 022- 6017887
<http://www.mgi.esdm.go.id> e-mail : cjournal.p3gl@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Pembaca yang budiman,

Jurnal Geologi Kelautan merupakan media publikasi antar para pakar di bidang kebumihantikan yang secara spesifik tentang geologi kelautan. Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL), Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral menjawab tantangan untuk tetap menjaga mutu dan akuntabilitas dalam proses penerbitannya sebagai Majalah Ilmiah Terakreditasi Nasional.

Terbitnya edisi Jurnal Geologi Kelautan Volume 22 No. 1 tahun 2024 ini adalah berkat kerja sama dan ketekunan penulis, redaktur, editor, dan mitra bestari yang mendapat dukungan moral dan material dari pihak terkait terutama manajemen dari BBSPGL, Badan Geologi. Makalah-makalah yang diterbitkan pada edisi ini menggunakan OJS (Open Journal System) melalui tahap penilaian substansi oleh para editor dan mitra bestari yang relevan, yaitu:

1. Karakteristik arus Laut Jawa pada musim barat di beberapa kedalaman.
2. Analisis profil dasar laut dan karakteristik sedimen menggunakan multibeam echosounder di perairan Jakarta.
3. Konsentrasi klorofil terhadap perubahan arus Edy permukaan di wilayah perairan Teluk Tolo, Laut Banda dan sekitarnya.
4. Pengaruh intrusi air laut dan hubungannya terhadap tutupan lahan terbangun di Kecamatan Pasar Mana, Kota Mana, Bengkulu.
5. Analisis data batimetri Batam menggunakan citra satelit Sentinel-2 di perairan Pulau Putri
6. Sebaran Satuan Sedimen Kuartar Di Perairan Rupat Timur, Riau, Berdasarkan Data Seismik Pantul Dangkal.

Besar harapan kami penyajian makalah-makalah di bidang geologi kelautan pada Jurnal Geologi Kelautan ini bermanfaat bagi para pembaca. Kami mengucapkan terima kasih pada semua pihak semoga kerja sama yang telah terjalin selama ini dapat terus ditingkatkan, sehingga Jurnal Geologi Kelautan dapat makin berkualitas sebagai media para pakar bidang geologi kelautan.

Bandung, Juni 2024

Dewan Redaksi



DAFTAR ISI

KARAKTERISTIK ARUS LAUT JAWA PADA MUSIM BARAT DI BEBERAPA KEDALAMAN

Roberto Patar Pasaribu, Herlina - Sagala, Abdul - Rahman, Amelia - Cahyani----- 1-10
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.823

ANALISA PROFIL DASAR LAUT DAN KARAKTERISTIK SEDIMEN MENGGUNAKAN MULTIBEAM ECHOSOUNDER DI PERAIRAN JAKARTA

Nuki Widi Asmoro, Henry Munandar Manik, Choirul Umam, Ferian azhari, widodo setiyo Pranowo, Muhammad Azis Kurniawan, Johar Setiyadi, Andi Exyas Prihantoro-----11-25
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.843

RESPON SINGKAT KONSENTRASI KLOOROFIL-A TERHADAP PERUBAHAN ARUS EDDY PERMUKAAN DI WILAYAH PERAIRAN TELUK TOLO DAN SEKITARNYA

Gandhi Napitupulu, Annisa Aulia Lukman, Rahaden Bagas Hatmaja, Aditya Rakhmat Kartadikaria, Iyonne Milichrisiti Radjawane, Ananda Vista Millina, M Apdillah Akbar, Moses Napitupulu -----26-42
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.877

PENGARUH INTRUSI AIR LAUT DAN HUBUNGANNYA TERHADAP TUTUPAN LAHAN TERBANGUN DI KECAMATAN PASAR MANNA DAN SEKITARNYA, KOTA MANNA, PROVINSI BENGKULU

Karmila Putri Landia, Budhi Setiawan.....43-54
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.878

ANALISIS DATA BATIMETRI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2 (STUDI KASUS: PULAU PUTRI, BATAM)

Pandu Akhbar Antares Arisanto, Ankiq Taofiqurohman, Nineu Yuyu Gerhaneu, Alexander M. A. Khan, Subiyanto-----54-67
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.852

SEBARAN SATUAN SEDIMEN KUARTER DI PERAIRAN RUPAT TIMUR, RIAU, BERDASARKAN DATA SEISMIC PANTUL DANGKAL

Agus Setyanto, Muhammad Zulfikar, Shazka Ramadhan Zulivandama, Deny Setiady dan Irwan Hidayat Suherman-----68-79
DOI: 10.32693/jgk.22.1.2024.889

KARAKTERISTIK ARUS LAUT JAWA PADA MUSIM BARAT DI BEBERAPA KEDALAMAN

CHARACTERISTICS OF JAVA SEA CURRENTS IN THE WEST SEASONS AT SEVERAL DEPTH

Roberto Patar Pasaribu^{1*}, Herlina Sagala¹, Abdul Rahman¹, Amelia Cahyani¹

¹ Prodi Teknik Kelautan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, Jl. Baru Tanjungpura –
Kabupaten Karawang- Jawa Barat

*Email: robertopasa37@gmail.com

Diterima : 17-04-2023 , Disetujui : 20-12-2023

ABSTRAK

Arus laut merupakan pergerakan massa air secara horizontal yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti tiupan angin, perbedaan densitas maupun pasang surut laut. Arus laut merupakan parameter hidro-oseanografi yang dinamis dan mempunyai peran penting dalam transpor nutrisi, larva, material, dan lain sebagainya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik arus Laut Jawa di beberapa kedalaman. Metode penelitian adalah metode kuantitatif berupa analisis data dan deskriptif. Data yang digunakan diperoleh dari pengukuran arus menggunakan alat *Vessel Mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)* yang dilakukan pada bulan Desember 2019 dengan menggunakan kapal riset Pusat Riset Oseanografi-Badan Riset dan Inovasi Nasional. Dari hasil pengolahan dan analisa data diperoleh di Laut Jawa kecepatan arus minimal rata-rata nya adalah 0,003 m/s sedangkan kecepatan arus maksimal rata-rata nya adalah 0,393 m/s. Kecepatan arus ter lambat adalah 0.001 m/s terjadi pada kedalaman 30 m sedangkan kecepatan arus tercepat adalah 0,410 m/s terjadi pada kedalaman 35 m. Secara umum arah arus yang terjadi di Laut Jawa pada monsun barat adalah menuju timur laut.

Kata kunci: Karakteristik arus laut, Laut Jawa, Vessel mounted ADCP

ABSTRACT

Ocean currents are the movement of water masses horizontally which can be caused by several factors such as wind, density differences and sea tides. Ocean currents are dynamic hydro-oceanographic parameters and have an important role in the transport of nutrients, larvae, materials, and so on. The purpose of this study was to determine the characteristics of the Java Sea

currents at several depths. The research method is a quantitative method in the form of data analysis and descriptive. The data used was obtained from current measurements using a Vessel mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) tool which was carried out in December 2019 using a research ship from the Research Center for Oceanography-National Research and Innovation Agency. From the results of processing and analysis of data obtained in the Java Sea the average minimum current speed is 0.003 m/s while the maximum average current speed is 0.393 m/s. The slow current speed is 0.001 m/s occurring at a depth of 30 m while the fastest current speed is 0.410 m/s occurring at a depth of 35 m. In general, the current direction that occurs in the Java Sea during the west monsoon is towards the northeast.

Keyword: Characteristics of ocean currents, Java Sea, Vessel mounted ADCP

PENDAHULUAN

Arus laut (*sea current*) adalah perpindahan massa air dari satu tempat menuju tempat lain, yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti gradien tekanan, hembusan angin, perbedaan densitas, atau pasang surut. Secara umum, karakteristik arus laut di perairan Indonesia dipengaruhi oleh angin dan pasang surut (Tanto et al., 2017). Di perairan dangkal (kawasan pantai), arus laut dapat dibangkitkan oleh gelombang laut, pasang surut laut atau sampai tingkat tertentu angin. Di perairan sempit dan semi tertutup seperti selat dan teluk, pasut merupakan gaya penggerak utama sirkulasi massa airnya (Rochaddi et al., 2021).

Pemahaman mengenai kondisi perairan sangat penting dilakukan sebagai analisis untuk mengurangi dampak-dampak negatif yang terjadi dalam merencanakan pengembangan wilayah pesisir dan laut. Arus merupakan salah satu komponen oseanografi, pengukuran arus adalah salah satu langkah awal monitoring kondisi perairan, Pola pergerakan arus dalam lingkup studi yang luas adalah dengan melakukan pengambilan data lapangan dan menggunakan pendekatan matematik (Wisha et al., 2015). Arus laut memegang peranan penting dalam transpor nutrisi, transpor larva, transpor material, perkembangan perikanan laut, produktivitas primer permukaan, dan juga menunjang aktifitas manusia seperti dalam kegiatan pertambangan, pariwisata dan lain sebagainya (Indrayanti et al., 2021).

Pengukuran arus dan gelombang dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan palem pasut, bola duga, dan palem gelombang, akan tetapi banyak kendala yang ditemui diantaranya pengaruh cuaca buruk, akurasi pengukuran yang rendah, ombak laut tidak menentu, biaya serta tenaga kurang efisien. Dengan semakin berkembangnya teknologi, saat ini instrumentasi otomatis banyak digunakan untuk pengukuran data di laut salah satunya adalah *Acoustic Doppler Current Profiler* atau ADCP yang lebih efisien dan akurat (Indrayanti et al., 2020).

Alat ukur ADCP atau yang biasa disebut *Acoustic Doppler Current Profiler* merupakan salah satu alat pengukur kecepatan arus air yang berteknologi tinggi. ADCP ini menggunakan gelombang suara atau sonar sebagai alat pendeteksinya dan mempunyai akurasi yang

tinggi. ADCP juga bekerja dengan mentransmisikan gelombang suara dengan pola tertentu ke kolom air dan menerima pantulannya yang disebabkan oleh partikel-partikel kecil yang ada didalam air (Arifiyanto et al., 2016).

Perairan Utara Pulau Jawa terletak di sebelah utara Pulau Jawa merupakan bagian dari Laut Jawa. Laut Jawa merupakan bagian dari perairan Asia Tenggara yang memiliki karakter berbeda dari Samudera Hindia maupun Samudera Pasifik. Di perairan Laut Jawa, pada musim barat arus di perairan Utara Pulau Jawa bergerak ke arah timur menyusuri pantai perairan utara Pulau Jawa dan kemudian bergerak menyusuri pantai ke arah tenggara. Sebaliknya saat musim timur ketika angin berhembus ke arah barat, kondisi arus juga bergerak ke arah barat mengikuti arah gerak angin musim barat. Pola arus permukaan di perairan utara Pulau Jawa menunjukkan pola arus yang sesuai dengan pola angin monsoon (Setyawan & Pamungkas, 2017).

Laut Jawa terletak dibagian tenggara paparan sunda dengan luas wilayah lebih kurang 467.000 km² dan kedalaman rata-rata 40 meter. Massa air di Laut Jawa dipengaruhi oleh beberapa fenomena, baik fisikal maupun meteorologikal. Arus (pergerakan massa air) merupakan fenomena penting dalam oseanografi, karena berkaitan dengan sirkulasi atau aliran massa air (Siregar et al., 2017).

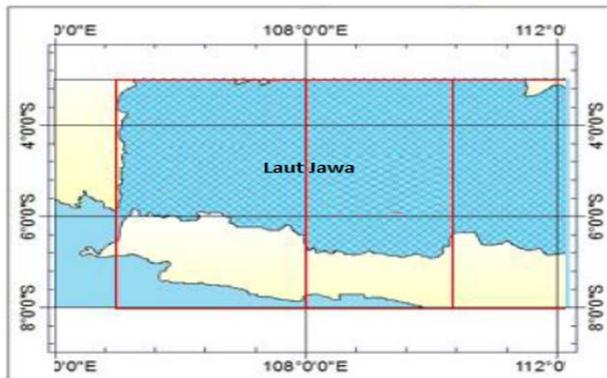
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik arus laut di Laut Jawa dengan cara mengukur dan mengolah data arus laut dengan alat *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP). Karakteristik arus yang ditunjukkan adalah besar dan arah kecepatan arus di beberapa lapisan kedalaman laut disepanjang Laut Jawa.

METODE

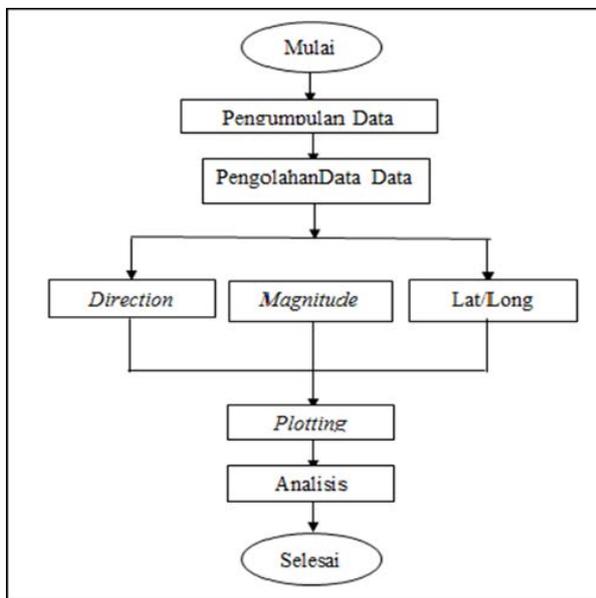
Waktu dan Tempat

Pengukuran arus dilakukan pada bulan Desember 2019 dengan menggunakan alat *Vessel Mounted ADCP* (*Acoustic Doppler Current Profiler*) sedangkan lokasi pengukuran di Laut Jawa. Pulau Jawa dikelilingi oleh dua perairan yang berbeda karakteristiknya. Perairan laut di sisi selatan pulau Jawa berbatasan langsung dengan Samudera Hindia serta mempunyai karakteristik dengan topografi dasar laut yang curam dan gelombang besar.

Sedangkan perairan laut di sisi utara pulau Jawa berbatasan langsung dengan Laut Jawa serta memiliki karakteristik dengan kondisi topografi dasar laut landai dan bergelombang relatif kecil (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian, Perairan Utara Pulau Jawa



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Alat dan Bahan

No	Alat dan bahan	Kegunaan
1	Kamera	Untuk dokumentasi
2	Laptop	Menyusun laporan dan pengolahan data
3	Vessel Mounted ADCP	Mengukur arus
4	Microsoft Excel	Untuk Pengolahan data
5	Surfer 11	Perangkat untuk plotting data Arus
6	WinADCP	Perangkat untuk konversi data binary dari ADCP menjadi data ASCII-TXT

Alur Kerja Penelitian

Alur kerja yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2, yaitu langkah-langkah

pengumpulan data, pengolahan dan analisa data serta plotting besar dan arah arus laut.

Pengumpulan Data

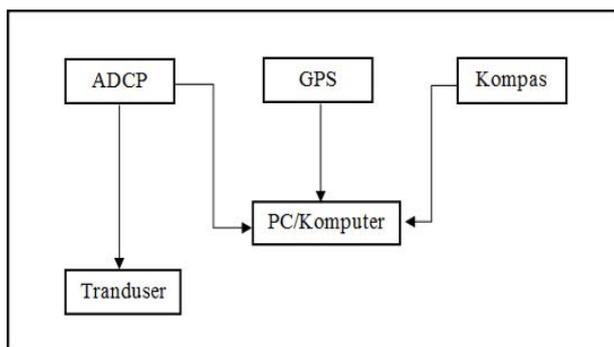
Data penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data utama yang di ukur langsung di lapangan dan digunakan sebagai input data dalam program atau perhitungan, sedangkan data sekunder adalah data pendukung dari laporan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dalam penelitian ini data primer diambil menggunakan peralatan *Vessel Mounted ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)* yang dilakukan bersama Pusat Riset Oseanografi-Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan melakukan pelayaran kapal riset pada bulan Desember 2019. Sedangkan data sekunder merupakan laporan penggunaan dan pengolahan data ADCP. Metode penelitian yang digunakan selama penelitian pada perairan utara Pulau Jawa adalah metode eksploratif, yaitu penelitian yang berusaha mencari pengetahuan baru tentang kondisi arus Laut Jawa di beberapa kedalaman dan hubungani arus laut dengan parameter fisika laut.

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

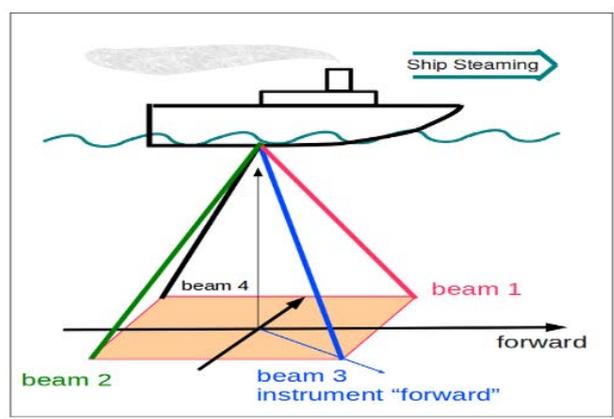
Alat ukur *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)* merupakan alat pengukur kecepatan arus air berteknologi tinggi. ADCP menggunakan gelombang suara (sonar) sebagai alat pendeteksinya dan mempunyai akurasi yang tinggi. Informasi yang diukur alat ini meliputi besar dan arah arus air hingga 128 titik di kolom air dengan maksimum kedalaman pengukuran mencapai beberapa ratus meter, tergantung pada frekwensi suara yang digunakannya. Selain itu, alat ini memberikan informasi mengenai suhu air laut, lintasan kapal, topografi dasar perairan serta dapat dihubungkan dengan *Global Positioning System (GPS)* untuk penentuan posisi pengukuran. ADCP mampu mengukur komponen arus vertikal, yang efektif dan efisien untuk pengamatan jangka panjang dan mampu mengukur dengan selang waktu yang pendek sekitar 3 detik pada kedalaman air 30 -35 m, sehingga data yang dihasilkan merupakan data dengan resolusi tinggi (Theoyana et al., 2015).

Sistem ADCP

Sistem ADCP terdiri dua bagian yaitu profiler dan kontrol. Bagian profiler meliputi beberapa komponen, yaitu komponen transducer, sensor suhu, kompas dan komponen elektronik pengolah sinyal. Bagian kontrol meliputi komponen catu-daya (power supply), komponen komunikasi elektronik, komputer dan peranti lunak untuk mengontrol kinerja ADCP dan pengolahan data. Sebelum pengolahan dan



Gambar 3. Sistem Kerja ADCP



Gambar 4. Sistem Kerja ADCP di Kapal

tahapan pre-processing data yang terdiri dari transfer data dari ADCP, koreksi orientasi, koreksi deklinasi lokal serta koreksi eror (Murjiyanto et al., 2015).

Pengukuran data sementara di lapangann dengan peralatan ADCP selalu dibarengi dengan program komputer yang mengontrol profiler, perekaman data dan analisa data. Penampilan data secara langsung di monitor computer dalam bentuk grafik sangat membantu dalam pemahaman sistem arus yang diukur pada saat itu juga. Frekuensi terendah yang digunakan ADCP adalah sekitar 30 kHz dan frekuensi tertinggi yang umumnya digunakan oleh USGS untuk pengukuran sungai adalah 300-3000 kHz (Harjono et al., 2016). Pada penelitian ini ADCP yang digunakan yaitu 75 kHz kedalaman pengukuran mencapai maksimal 600 meter.

Cara Kerja ADCP

ADCP dapat mengukur arus air laut dengan suara, menggunakan prinsip gelombang suara yang disebut *efek doppler*. Gelombang suara memiliki frekuensi atau nada yang lebih tinggi ketika bergetar menuju suatu objek dan akan mengecil ketika bergerak jauh. Alat ini juga dapat digunakan untuk mengukur *bed load velocity* serta memperkirakan konsentrasi sedimen tersuspensi. ADCP bekerja dengan mentransmisikan *Ping* suara pada frerkuensi konstan kedalam air. Saat gelombang suara bergerak memantulkan partikel yang tersuspensi dalam air yang bergerak dan memantulkan kembali ke instrument (Murjiyanto et al., 2015).

ADCP yang dipasang pada kapal yang bergerak dan dapat dengan mudah mengukur profil kecepatan multi-

komponen di bawah laut, secara otomatis memberikan informasi mengenai kecepatan, kedalaman, pola arus dan informasi lokasi dimanapun kapal tersebut berada. Kondisi pengukuran yang buruk terjadi ketika air hanya memiliki sedikit partikel untuk mentranmisikan pulsa suara, atau sebaliknya konsentrasi arus di dalam kolom perairan terlalu banyak sehingga menyerap pulsa suara. ADCP disandingkan dengan alat GPS dan Kompas lalu digabungkan melalui PC atau computer untuk mentransfer hasil data yang didapat. ADCP dihubungkan langsung ke tranduser untuk membantu mengirimkan suara ultrasonik dan kemudian menerima kembali pantulan suara tersebut (Haryanto et al., 2020).

Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran arus menggunakan alat *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Hasil pengukuran alat ADCP adalah berupa data batimetri, data magnitude (kedalaman), dan data latitude/longitude (posisi) dalam bentuk data numerik. Proses pengolahan data dilakukan dengan pengambilan data dari alat ADCP dan ditransformasikan ke laptop menggunakan kabel konektor dan memori dan diolah menggunakan *softwatre Ms.Excel*. Hasil pengukuran data arus dengan ADCP yang dilakukan pada bulan Desember 2019 ditunjukkan pada gambar 5.

Tahap pengolahan data dilakukan untuk memisahkan data numerik yang terekam pada ADCP menjadi data batimetri, data kedalaman (*magnitude*) dan data lokasi (latitude/longitude) menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil pengolahan data ini akan mendapatkan data yang sudah rapih dan dipisahkan satu dengan yang lain. Ketiga data tersebut digunakan untuk menggambarkan (plotting) data arus dengan *software surfer 11*. Setelah data arus selesai akan dilakukan perbandingan dengan *software WinADCP*.

Surfer merupakan *software* pemograman untuk mengkonversi data (.txt) menjadi data *grid* untuk melakukan *plotting* data. *Surfer* digunakan untuk pembuatan kontur peta dan permodelan tiga dimensi berdasarkan *grid*. *Grid* merupakan serangkaian garis vertikal dan horizontal yang digunakan sebagai dasar pembentukan kontur dan gambar tiga dimensi. *Gridding* merupakan proses pembentukan nilai z yang teratur dari sebuah data xyz. Hasil dari proses *gridding* ini adalah file *grid* (Edy Soesanto et al., 2022).

WinADCP merupakan *software* yang biasa digunakan untuk membuat warna arah arus. *Software* ini menampilkan warna arah arus dari data yang diolah. Hasil data WinADCP dapat mempermudah proses pembacaan karakteristik angin di suatu lokasi dan membandingkan antara vektor dan warna arah arus. Pengolahan data menggunakan *WinADCP* dilakukan untuk mengetahui perbandingan pola arus dengan *Surfer* di daerah Perairan Utara Pulau Jawa. WinADCP dan *Surfer* dapat melihat perbedaan hasil olah data yang menghasil vektor dan warna, vektor ditunjukkan arah dengan panah untuk setiap kedalaman sedangkan Win ADCP ditunjukkan dalam

bentuk warna dan seluruh kedalaman. Tampilan hasil WindADCP ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8.

Gambar 7 menunjukkan arus pada berbagai kedalaman yang ditunjukkan variasi warna dimana berwarna merah menunjukkan arah arus dominan menuju

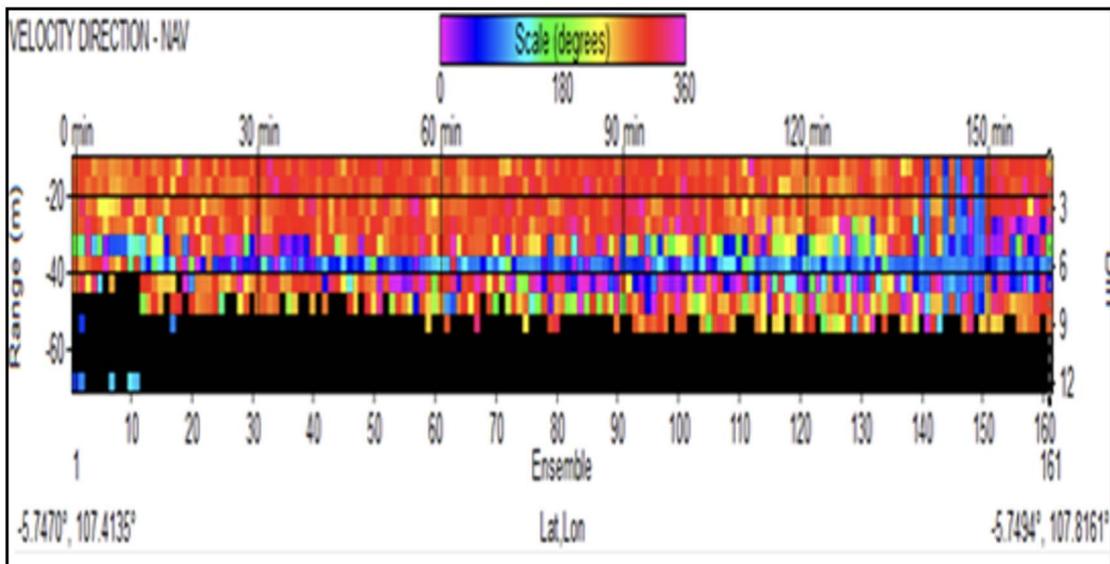
arah barat pada titik 0 min – 150 min pada kedalaman 30 m atau lebih besar. Warna yang ditunjukkan biru menunjukkan arah arus menuju arah timur dengan arus dominan kecil pada kedalaman 40 m. Perbedaan ini dapat disebabkan karena arus memiliki pergerakan massa air

"Mag"	"Dir"	"Dir"	"Dir"	"Flat"	"Flon"															
"m/s"	"deg"	"deg"	"deg"	"deg"	"deg"															
4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
68	104	81	96	65	75	35	246,80	260,50	274,60	223,80	197,90	187,80	222,90	161,30	175,40	350,00	-	6,223768	113,307113	
156	84	39	108	28	138	201	246,00	276,30	267,60	326,50	303,90	34,50	143,70	90,00	13,00	127,10	-	6,224671	113,30956	
159	62	127	45	68	49	158	256,10	299,30	87,20	270,00	299,30	87,20	270,00	299,30	87,20	12,00	-	6,225517	113,311910	
109	120	105	50	46	18	126	286,70	309,50	32,30	241,10	309,50	32,30	241,10	309,50	32,30	349,00	-	6,226426	113,314366	
141	76	78	58	107	57	114	255,30	299,90	133,20	255,30	299,90	133,20	255,30	299,90	133,20	110,50	-	6,227400	113,316670	
236	167	24	80	43	94	71	272,10	31,20	11,50	259,50	31,20	11,50	259,50	31,20	11,50	31,20	-	6,228437	113,318901	
54	41	107	87	117	135	137	242,50	101,40	22,80	260,60	101,40	22,80	260,60	101,40	22,80	101,40	-	6,229501	113,321296	
97	112	54	55	73	113	39	233,20	60,80	62,10	251,30	60,80	62,10	251,30	60,80	62,10	60,80	-	6,230406	113,323620	
118	24	125	116	77	175	49	281,40	93,50	299,30	266,10	93,50	299,30	266,10	93,50	299,30	93,50	-	6,231411	113,326039	
190	150	113	4	14	80	81	270,00	87,20	246,80	221,80	87,20	246,80	221,80	87,20	242,50	87,20	-	6,232309	113,328363	
169	151	63	16	66	26	103	241,10	32,30	246,00	270,00	32,30	246,00	242,50	32,30	233,20	32,30	-	6,233354	113,330768	
108	112	41	65	40	50	67	255,30	133,20	256,10	241,10	133,20	256,10	233,20	133,20	281,40	133,20	-	6,234215	113,333059	
204	109	16	151	52	72	150	259,50	11,50	286,70	255,30	11,50	286,70	281,40	11,50	270,00	11,50	-	6,235077	113,335404	
88	202	66	77	81	83	41	260,60	349,00	255,30	259,50	349,00	255,30	270,00	349,00	241,10	22,80	-	6,236158	113,337805	
52	103	33	74	82	50	135	251,30	110,50	272,10	260,60	110,50	272,10	241,10	110,50	255,30	62,10	-	6,237194	113,340039	
126	7	130	96	152	39	65	266,10	31,20	242,50	251,30	31,20	242,50	255,30	31,20	259,50	299,30	-	6,238159	113,342476	
124	68	250	86	131	118	22	221,80	101,40	233,20	266,10	101,40	233,20	259,50	101,40	260,60	309,50	-	6,239134	113,344776	

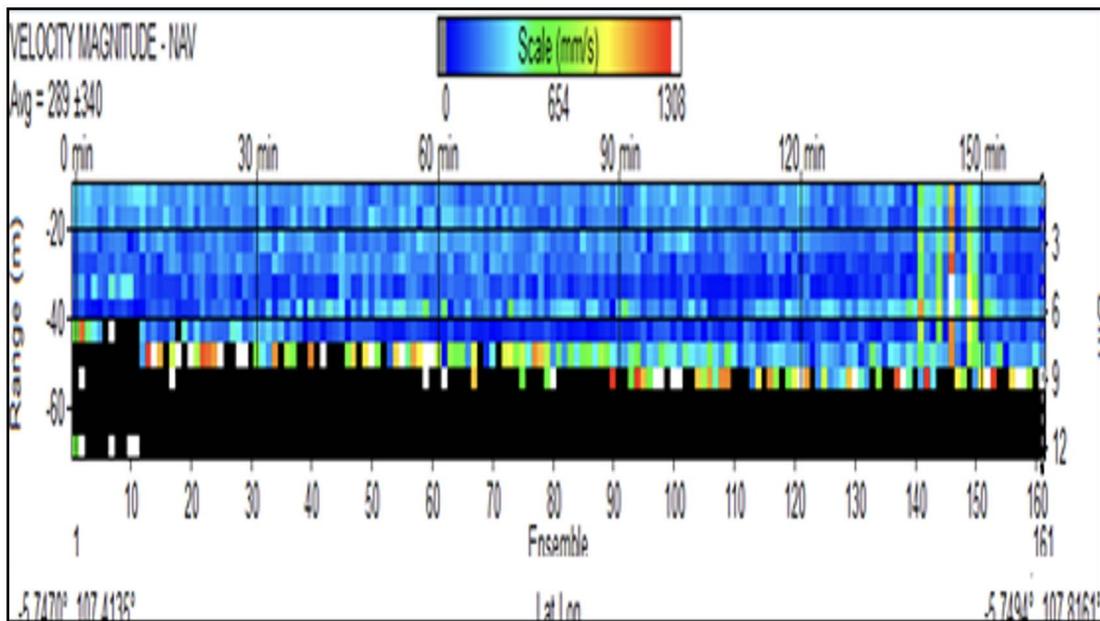
Gambar 5. Data arus hasil pengukuran menggunakan ADCP

Ens	Mag	Dir	Flat	Flon	Jumlah
1	303	0	-5.74700	107.4135	237.8
2	302	60	-5.74689	107.4186	222.4
3	143	80	-5.74698	107.4236	212.4
4	315	0	-5.74691	107.4287	217.7
5	222	60	-5.74706	107.4337	210.7
6	220	30	-5.74715	107.4388	204.8
7	187	90	-5.74719	107.4437	201.4
8	209	0	-5.74733	107.4488	198.8
9	238	60	-5.74726	107.4538	192.1
10	239	20	-5.7472	107.4589	199.5
11	149	60	-5.74726	107.464	205.4
12	202	80	-5.74706	107.4689	209.6
13	196	10	-5.74686	107.474	198.3
14	245	30	-5.7486	107.4791	196.3
15	163	90	-5.74713	107.4842	193.8
16	186	60	-5.74728	107.4893	195.7
17	161	60	-5.74736	107.4944	206.5
18	142	10	-5.74761	107.4994	215.2
19	312	10	-5.74779	107.5045	235.4
20	289	60	-5.74789	107.5095	234.4

Gambar 6. Data arus hasil pengolahan



Gambar 7. Tampilan data arah arus dalam derajat



Gambar 8. Tampilan data kecepatan arus dalam (m/s)

yang tinggi dan dapat disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut (Permadi et al., 2015).

Gambar 8 menunjukkan kecepatan arus pada berbagai kedalaman yang ditunjukkan variasi warna dimana berwarna biru menunjukkan arah arus dominan menuju arah timur pada titik 0 min – 150 min pada kedalaman 40 m. Pada permukaan laut sampai kedalaman 15 m kecepatan minimal 4 mm/s dan maksimal 398 mm/s dan mengalami penurunan kecepatan sampai kedalaman 30 m dengan kecepatan 1 mm/s.

HASIL DAN PEMBAHASAN

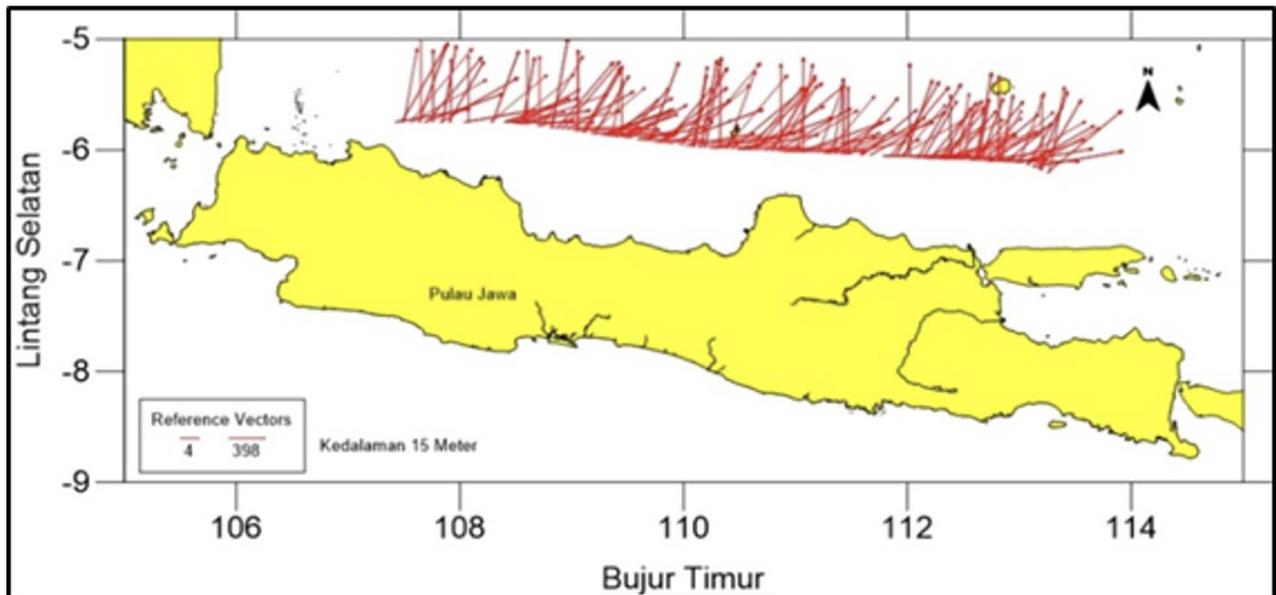
Hasil pengolahan data yang diperoleh dari alat ADCP yang berupa data *direction*, *magnitude*, *longitude* dan *latitude* menghasilkan pola arus di Laut Jawa. Pola arus yang digambarkan/ petakan dibagi dalam beberapa lapisan kedalaman laut, yaitu lapisan kedalaman 15 m, 20 m, 25 m, 30 m dan 35 m, dimana pada setiap kedalaman ditunjukkan besar kecepatan dan arah arus laut.

Pola Arus Kedalaman 15 m

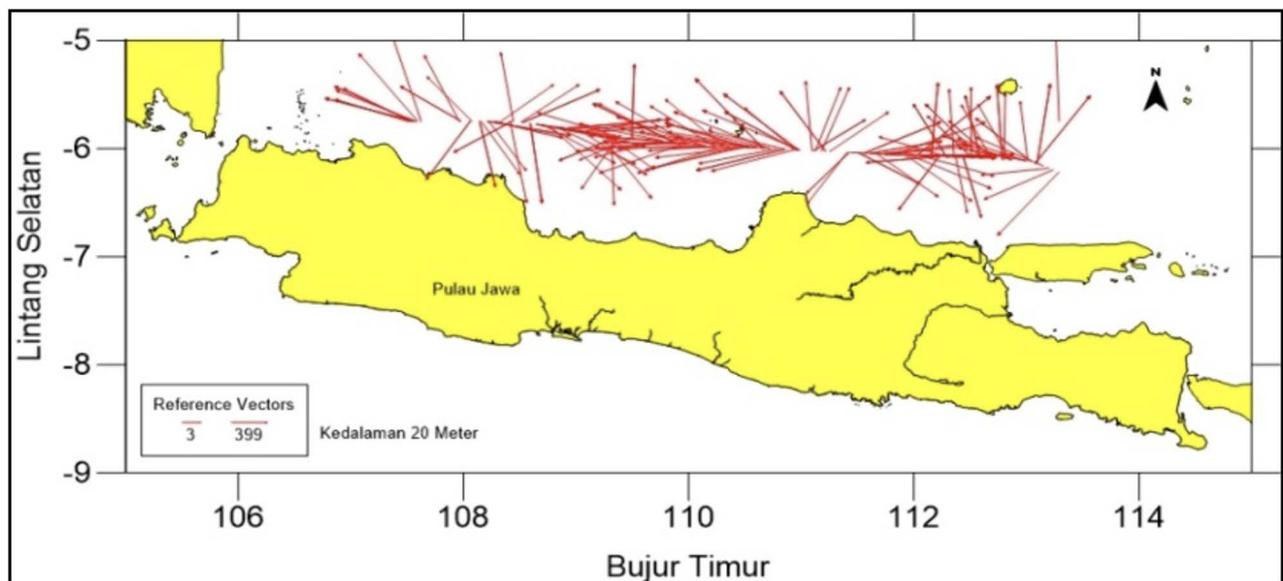
Arus pada kedalaman 15 m dengan jalur pelayaran dari arah perairan Jakarta sampai dengan Madura dengan minimal kecepatan rata-rata arus 4 mm/s dan maksimal 398 mm/s. Arah arus dominan menuju ke timur laut mulai dari titik keberangkatan sampai dengan menuju titik terakhir yaitu perairan Madura (Gambar 9). Pengaruh arus dominan ke timur laut karena adanya sebagian wilayah Indonesia terdapat dua musim angin, yakni angin musim barat dan angin musim timur. Dalam hal ini arah arus ke timur disebabkan oleh angin musim barat (Siregar et al., 2017).

Pola Arus Kedalaman 20 m

Arus di kedalaman 20 m dengan jalur pelayaran dari perairan Jakarta sampai perairan Madura dengan minimal kecepatan rata-rata arus 3 mm/s dan maksimal 399 mm/s (Gambar 10). Pada daerah 107°BT sampai dengan 6°LS arus menuju arah Barat Laut, pada daerah 108°BT arus menuju arah Tenggara, pada daerah 109°BT sampai



Gambar 9. Pola arus pada kedalaman 15 m



Gambar 10. Pola arus pada kedalaman 20 m

110°BT arus nya menguat dengan arah arus berlawanan menuju kearah Barat hingga kearah Timur. Arah arus pada kedalaman 20 m dominan menuju ke Timur dan tidak beraturan. Hal ini dapat disebabkan adanya angin pada musim Barat yang berhembus menuju ke timur (Najid et al., 2012).

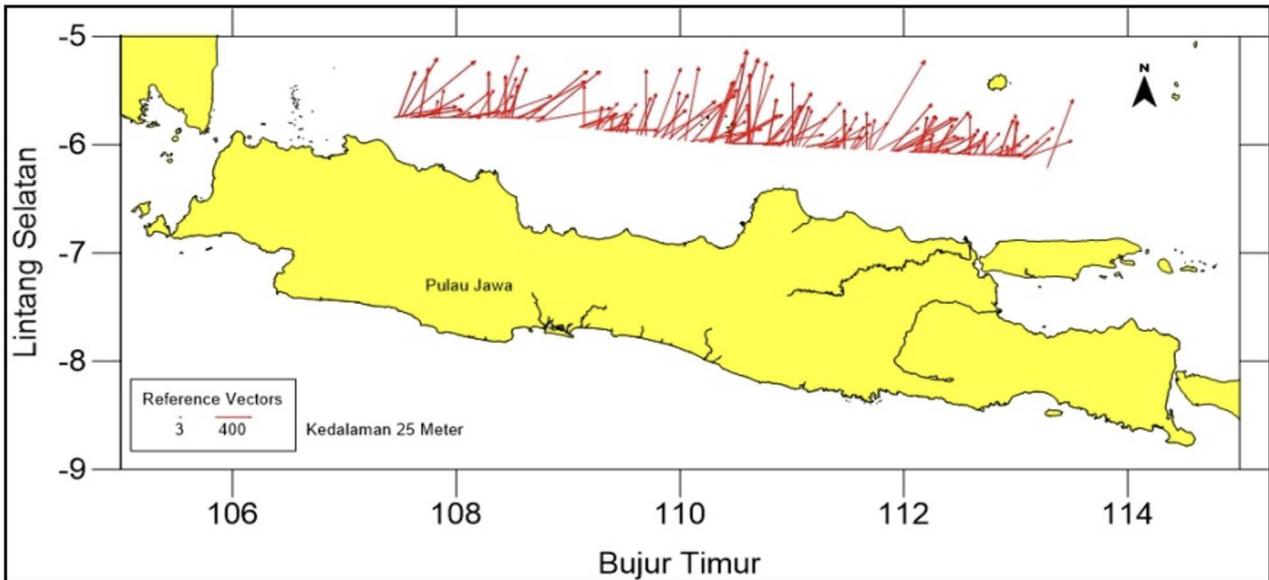
Pola Arus Kedalaman 25 m

Arus pada kedalaman 25 m dengan jalur pelayaran dari perairan Jakarta sampai perairan Madura dengan minimal kecepatan rata-rata arus 3 mm/s dan maksimal 400 mm/s. Arah arus dominan menuju Timur Laut dengan arah 109°BT sampai dengan 113°BT arus menguat dengan titik keberangkatan melalui perairan Jakarta hingga perairan Madura (Gambar 11). Hal ini disebabkan karena arus memiliki pergerakan massa air yang dapat disebabkan oleh tiupan angin musim barat yang

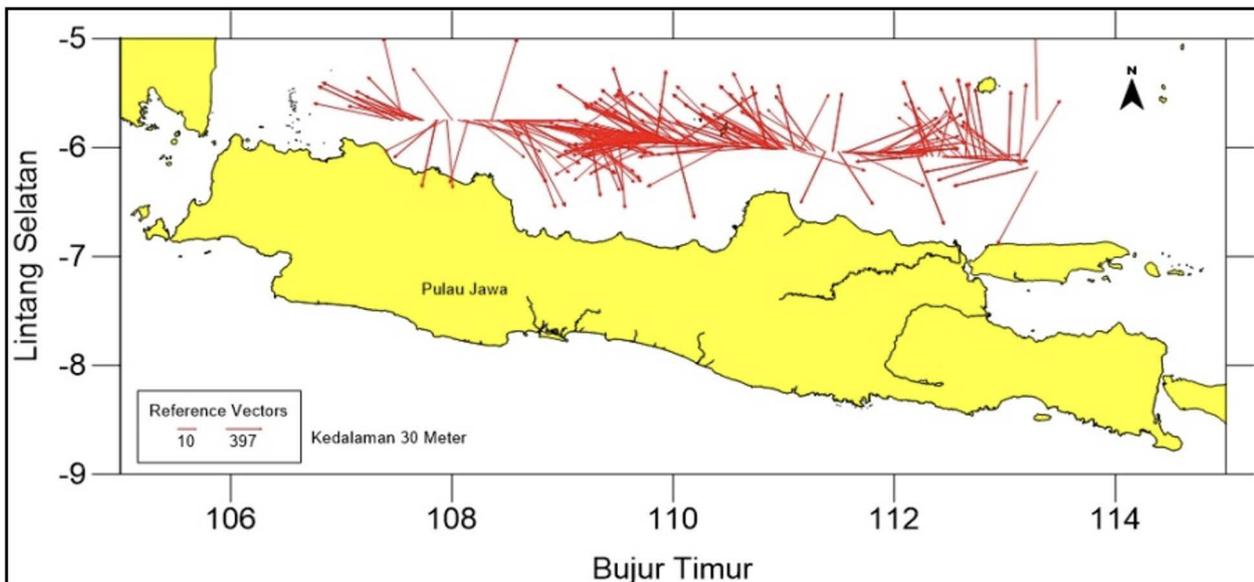
berhembus menuju Timur Laut di permukaan laut. Akibat dari adanya pengaruh angin musim, perbedaan densitas maupun adanya pengaruh pasang surut laut, cuaca, serta suhu maka akan terbentuk suatu pola sirkulasi arus yang khusus (Permadi et al., 2015).

Pola Arus Kedalaman 35 m

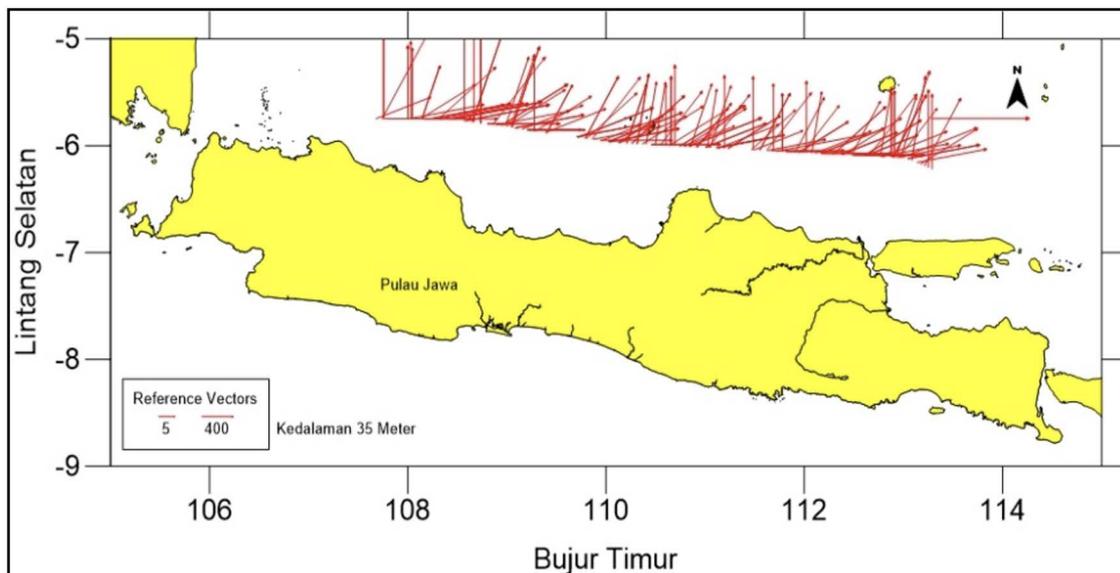
Arus dikedalaman 35 m dengan jalur pelayaran dari perairan Jakarta sampai perairan Madura mempunyai kecepatan arus rata-rata minimal 5 mm/s dan maksimal 410 mm/s. Arah arus tidak berlawanan mulai dari titik keberangkatan sampai menuju perairan Madura, arah arus rata-rata menuju ke Timur Laut (Gambar 13). Hal ini disebabkan karena arus memiliki pergerakan massa air yang dapat disebabkan oleh tiupan angin musim barat



Gambar 11. Pola arus pada kedalaman 25 m



Gambar 12. Pola arus pada kedalaman 30 m



Gambar 13. Pola arus pada kedalaman 35 m

yang berhembus menuju Timur Laut di permukaan laut. Akibat dari adanya pengaruh angin musim, perbedaan densitas maupun adanya pengaruh pasang surut laut, cuaca, serta suhu maka akan terbentuk suatu pola sirkulasi arus yang khusus (Permadi et al., 2015).

Kecepatan arus rata-rata perkedalaman

Berdasarkan hasil pengolahan data dapat diketahui pola arus laut di perairan utara Pulau Jawa dalam berbagai kedalaman dengan membagi variasi kedalaman menjadi 5 kedalaman, yaitu di kedalaman 15 m, 20 m, 25 m, 30 m

Tabel 2. Hasil Kecepatan Laut perkedalaman

No	Kedalaman (meter)	Minimal (m/s)	Maksimal (m/s)	Arah Arus
1	15	0,004	0,398	menuju ke Timur Laut
2	20	0,003	0,399	menuju ke Timur
3	25	0,003	0,400	menuju ke Timur Laut
4	30	0,001	0,360	menuju ke Selatan
5	35	0,005	0,410	menuju ke Timur Laut

dan 35 m (Tabel 2).

Berdasarkan tabel 2 terlihat kondisi pola arus diperairan utara Pulau Jawa memiliki nilai minimal dan maksimal berbeda di setiap kedalaman. Kecepatan arus minimal terjadi pada lapisan kedalaman 30 m dengan kecepatan 0,001 m/s dengan arah menuju Selatan sedangkan kecepatan arus maksimal terjadi pada kedalaman 35 m dengan kecepatan 0,410 m/s dan arah arus dominan menuju ke Timur Laut.

Pada permukaan laut sampai kedalaman 15 m kecepatan minimal lebih besar dari kecepatan arus pada kedalaman 20 m sampai 30 m, ini disebabkan adanya pengaruh angin yang berhembus secara horizontal dari barat ke timur pada monsun barat yang biasanya terjadi di laut Jawa pada setiap bulan Desember sampai bulan Februari (Siregar et al., 2017). Pada kedalaman 30 m kecepatan arus sangat kecil yang merupakan kecepatan terendah di Laut Jawa, hal ini disebabkan pengaruh angin dipermukaan laut sangat kecil sekali atau sudah tidak ada lagi pengaruh angin (Simanjorang et al., 2018). Disamping pengaruh angin dengan bertambahnya kedalaman maka semakin berkurangnya kecepatan rata-rata arus karena adanya gesekan di tiap lapis kedalaman serta adanya gesekan di dasar perairan turut mengurangi laju arus seiring bertambahnya kedalaman (Tarhadi et al., 2014). Selanjutnya pada kedalaman 35 m kecepatan arus makin kuat yang merupakan kecepatan maksimal (tercepat) pada variasi kedalaman yang diamati yaitu kedalaman 15 m sampai 35 m. Arus pada kedalaman ini tidak dipengaruhi angin lagi tetapi lebih banyak dipengaruhi pergerakan massa air akibat perbedaan densitas atau topografi dasar laut.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kecepatan arus laut diperairan utara Pulau Jawa berbeda besar dan arahnya tiap kedalamannya, dimana perbedaan ini disebabkan beberapa faktor antara lain pengaruh angin, terutama akibat adanya pengaruh sistem Angin Monsun

Laut Jawa (Wiadnyana et al., 2014). Pernyataan ini diperkuat oleh Ulung Jantama Wisna (Wisna et al., 2015) menyatakan bahwa kecepatan arus laut dipengaruhi oleh angin, pasang surut, densitas, dan tahanan dasar masa air.

KESIMPULAN

Hasil pengolahan dan analisa data arus yang diperoleh dari alat ADCP, dapat diketahui di Laut Jawa kecepatan arus laut minimal rata-rata nya adalah 0,003 m/s sedangkan kecepatan arus maksimal rata-rata nya 0,393 m/s. Kecepatan arus terendah adalah 0.001 m/s terjadi pada kedalaman 30 m sedangkan kecepatan arus terbesar adalah 0,410 m/s terjadi pada kedalaman 35 m. Secara umum arah arus yang terjadi di Laut Jawa pada musim barat 2019 adalah arah timur laut.

DAFTAR ACUAN

- Arifiyanto, Pranowo, W. S., Fatoni, K. I., & K, A. R. T. D., 2016. Pengolahan Dan Penyajian Data Arus Pasang Surut Hasil Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler (Adep). *Hidropilar*, 2(1), 59–70. <http://jurnal.sttalhidros.ac.id/>
- Edy Soesanto, Aly Rasyid, & Hadi Suyanto. 2022. Perencanaan Desain Offshore Kontruksi Bawah Laut menggunakan Pengolahan Data Pemodelan Geofisika dengan Program Simulasi 3D Surfer. *Jurnal Bhara Petro Energi*, 1(2), 37–46. <https://doi.org/10.31599/bpe.v1i2.1447>
- Harjono, S., Dwi K, R., Sofyan, H., & Fauzi, A. 2016. Pengoperasian Alat Arus Adep Teledyne Dengan Sistem Sea Bottom Mounted Dan Pengolahan Data. *Jurnal Hidropilar*, 1(2).
- Haryanto, D., Febriawan, H. K., Safi, A. F., & Irfan, M. 2020. Survei Dimensional Dan Kalibrasi Sistem Multibeam Laut Dalam Di Kapal Riset Baruna Jaya I. *Geomatika*, 26(2), 95. <https://doi.org/10.24895/jig.2020.26-2.1143>
- Indrayanti, E., Sugianto, D. N., & Siagian, H. S. 2021. *Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan , Karimunjawa Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler*. 24(2), 247–254.
- Indrayanti, E., Wijayanti, D. P., & Siagian, H. R. 2020. *Pasang Surut , Arus dan Gelombang Berdasarkan Data Pengukuran Acoustic Doppler Current Profiler di Perairan Pulau Cilik , Karimunjawa*. 9(1), 37–44. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.29065>
- Murjiyanto, Trijoko, Saroso, & Fauzi, A. 2015. Pengoperasian Alat Pengukur Arus Otomatis Acoustic Doppler Current Profiler. *Jurnal Hidropilar*, 1(2), 171–180.

- Najid, A., Pariwono, J. I., Bengen, D. G., Nurhakim, S., & Atmadipoera, A. S. 2012. Pola Musiman dan Antar Tahunan Salinitas Permukaan Laut Di Perairan Utara Jawa-Madura. *Maspari Journal*, 4(2), 168–177. www.ecmwf.int.
- Permadi, L. C., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. 2015. Studi Arus Pada Perairan Laut Di Sekitar Pltu Sumuradem Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 4(2), 516–523.
- Rochaddi, B., Ismanto, A., Suryono, C. A., Widada, S., Perikanan, F., Diponegoro, U., Kelautan, I., Perikanan, F., & Diponegoro, U. 2021. *Variasi Temporal Karakteristik Arus di Perairan Tanjung Jati*, Jepara. 24(2), 255–264.
- Setyawan, W. W., & Pamungkas, A. 2017. Perbandingan Karakteristik Oseanografi Pesisir Utara Dan Selatan Pulau Jawa: Pasang-Surut, Arus, Dan Gelombang. *Universitas Trunojoyo Madura*, III, 191–202.
- Simanjorang, J. E., Pranowo, W. S., Sari, L. P., Purba, N. P., & Syamsuddin, M. L. 2018. Building up the database of the Level-2 Java Sea Ecoregion based on physical oceanographic parameters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 176(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/176/1/012009>
- Siregar, S. N., Sari, L. P., Purba, N. P., Pranowo, W. S., & Syamsuddin, M. L., 2017. Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Depik*, 6(1), 44–59.
- Tanto, T. Al, Wisna, U. J., Kusumah, G., Pranowo, W. S., & Husrin, S., 2017. *Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa - Bali KARAKTERISTIK ARUS LAUT PERAIRAN TELUK BENOA – BALI (Characteristics of S ea Current in Benoa Bay Waters – Bali)*. August. <https://doi.org/10.24895/JIG.2017.23-1.631>
- Tarhadi, Indrayanti, E., & Anugroho DS, A., 2014. Studi Pola dan Karateristik Arus Laut Di Perairan Kaliwungu Kendal Jawa Tengah Pada Musim Peralihan I. *JURNAL OSEANOGRAFI*, 3(1), 16–25.
- Theoyana, T. A., Pranowo, W. S., Anastasia, R. T. D. K., & Purwanto., 2015. Karakteristik arus pasang surut di selat Badung, Bali. *Segara*, 11(2), 115–123.
- Wiadnyana, N. N., Krismono, & Pranowo, W. S., 2014. *Menuju Pengelolaan Perikanan Berkelanjutan di Teluk Jakarta dan Perairan Seribu* (N. N. Wiadnyana, Krismono, & W. S. Pranowo (eds.)). Amafrad Press.
- Wisna, U. J., Husrin, S., & Prihantono, J., 2015. Hidrodinamika Perairan Teluk Banten Pada Musim Peralihan (Agustus-September). *ILMU KELAUTAN Juni*, 20(2), 101–112.

ANALISA PROFIL DASAR LAUT DAN KARAKTERISTIK SEDIMEN MENGUNAKAN MULTIBEAM ECHOSOUNDER DI PERAIRAN JAKARTA

ANALYSIS OF SEAFLOOR PROFILE AND SEDIMENT CHARACTERISTICS USING MULTIBEAM ECHOSOUNDER IN THE WATERS OF JAKARTA

Nuki Widi Asmoro^{1*}, Henry Munandar Manik², Choirul Umam¹, Ferian Azhari¹, Widodo Setiyo Pranowo^{1,3}, Muhammad Azis Kurniawan¹, Johar Setiyadi^{1,4}, Andi Exyas Prihantoro⁵

¹ Prodi Magister Oseanografi, Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) Jl Ganesha no 1 Kodamar DKI Jakarta 14240

² Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK IPB Jl. Raya Dramaga Bogor Jawa Barat 16680

³ Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Jl MH Thamrin no 8 DKI Jakarta 10340

⁴ Program Doktor Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya 60111

⁵ Sekolah Staff dan Komando Angkatan Laut (SESKOAL) DKI Jakarta 12230

*Email: nukiasmoro@gmail.com

Diterima : 08-07-2023 , Disetujui : 25-03-2024

ABSTRAK

Profil dan karakteristik sedimen dasar laut menjadi informasi penting dalam kegiatan pengerukan alur Pelabuhan. Dasar sedimen yang bervariasi dan area pengerukan yang luas harus dapat dipetakan, serta dianalisa secara tepat agar memudahkan kegiatan pengerukan. Teknologi *multibeam echosounder* (*MBES*) dapat digunakan untuk mendeteksi kedalaman dan merekam data pantulan dasar laut, yang kemudian diproses menjadi mozaik pantulan sehingga membantu mengidentifikasi jenis dan morfologi dasar laut. Penelitian ini dilaksanakan di alur Pelabuhan Rukindo perairan Jakarta yang merupakan ordo khusus dengan kedalaman bervariasi. Penelitian ini dilakukan menggunakan data in situ *MBES* dengan menganalisis nilai hamburan balik (*backscatter*) metode *Angular Range Analysis* dan *Sediment Analysis Tools (ARA&SAT)* dimana hubungan hamburan balik sangat erat dengan ukuran butiran sedimen. Validasi dilaksanakan dengan pengambilan sedimen, menggunakan *grab sample* sebanyak 12 titik di area penelitian, kemudian melaksanakan pengujian contoh sedimen di laboratorium untuk menghasilkan klasifikasi sedimen skala *wentworth*. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran hasil pengujian sedimen dengan nilai *backscatter MBES* dan hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengklasifikasian sedimen halus berdasarkan nilai *backscatter* di laut Jakarta. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai

intensitas sedimen dari *backscatter MBES* antara -15 db s.d -30 db dengan 3 klasifikasi sedimen yang didominasi oleh sedimen pasir halus. Berdasarkan nilai *backscatter MBES* diharapkan diketahui klasifikasi jenis sedimen sehingga berkontribusi untuk perencanaan pengerukan alur pelabuhan terkait dengan jenis substrat bawah laut sehingga kegiatan pengerukan dapat dilakukan dengan aman dan efektif.

Kata kunci: Profil Dasar Laut, Karakteristik, Sedimen, *Backscatter*, *Multibeam echosounder*

ABSTRACT

The research focused on analyzing seafloor sediments in the Rukindo Port channel, Jakarta's waters, to facilitate dredging activities. Multibeam echosounder technology was employed to map seafloor depths and backscatter data, which helped identify sediment types and morphology. The study used Angular Range Analysis and Sediment Analysis Tools (ARA&SAT) to examine backscatter values related to sediment grain size. Validation involved collecting sediment samples at 12 points in the study area and classifying them in the laboratory based on the Wentworth scale. This unique research aimed to classify fine sediments using backscatter values in the Jakarta Sea, providing valuable insights for dredging planning. Results indicated predominantly fine sand sediments with backscatter values ranging from -15 dB to -30 dB. Utilizing these backscatter values can contribute to safer and more effective dredging operations by considering the underwater substrate type. This study marks a significant step in sediment classification based on backscatter values in the region.

Keyword: *Seafloor Profile, Characteristics, Sediment, Backscatter, Multibeam echosounder*

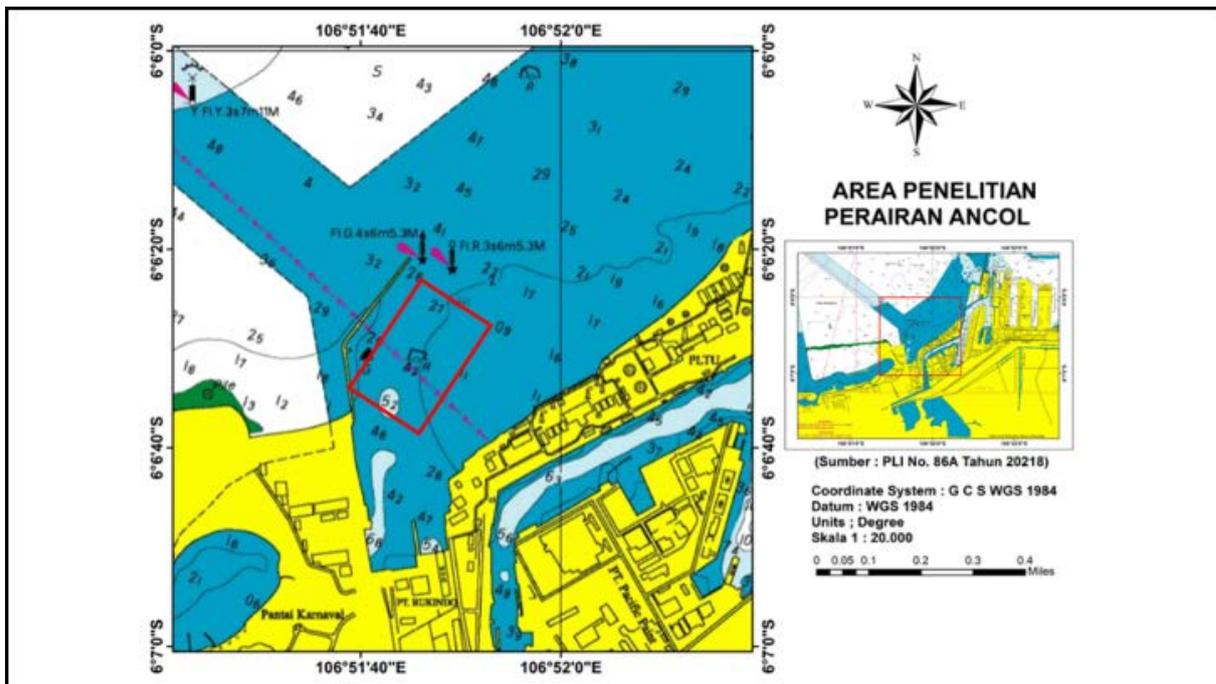
PENDAHULUAN

Profil dasar laut adalah fitur dan karakteristik fisik dari dasar laut, termasuk kedalaman, topografi, dan komposisi laut (NOAA, 2020). Sedimen merupakan bagian fitur dan karakteristik dasar laut. Sedimen secara umum didefinisikan material yang terbawa arus sungai yang airnya sampai muara akan diendapkan di dasar laut (Yani, dkk., 2020), menurut (Gross, 1990 dalam Yani, dkk., 2020) sedimen secara sederhana yaitu bahan yang diendapkan, sedimen umumnya mencakup partikel mineral seperti pasir, debu halus, dan lempung, serta bahan organik dari tumbuhan dan hewan mati. Keberadaan sedimen mencakup sekitar dua pertiga permukaan bumi, ketebalan dan karakteristik fisik, kimia, biologi dari sedimen atau batuan terbentuk oleh lingkungan geologis, kondisi sedimen bervariasi secara signifikan di tiap tempat (Hesse & Schacht, 2011). Pola struktur sedimen berada mulai dari wilayah kontinental hingga laut dalam (Rajput & Thakur, 2016), lokasi pengendapan sedimen berada di sungai, muara, delta, *estuary*, laut dangkal hingga laut dalam menurut (Pettijohn, 1975) dalam buku (Hutabarat & Evans, 2000)

Kegiatan pengerukan adalah proses penggalian dan pengangkatan sedimen pelabuhan. Proses ini biasanya dilakukan menggunakan kapal khusus yang disebut *dredger*, yang menghisap sedimen dari dasar perairan dan memompanya ke lokasi lain untuk dibuang atau digunakan kembali (IADC, 2020), sebelum pengerukan pada umumnya akan dilaksanakan analisa jenis sedimen

untuk menentukan rencana dan desain pengerukan. Cara efektif untuk menganalisa jenis sedimen yaitu menggunakan *multibeam echosounder (MBES)*. *MBES* merekam kedalaman air (batimetri), dimana dari data *MBES* dapat menghasilkan informasi tentang morfologi dasar laut seperti jenis sedimen dasar laut (Craig, dkk., 2019). Teknologi *MBES* pada dasarnya dirancang untuk mengukur batimetri dasar laut, dengan perkembangan sistem sonar *MBES* sekarang data hamburan balik (*backscatter*) dasar laut dapat direkam dan diproses menjadi *mozaik* (Lurton & Lamarche, 2015).

Penelitian ini dilakukan di alur Pelabuhan Rukindo perairan Ancol Jakarta dimana area tersebut memiliki alur pelayaran untuk keluar masuk kapal, kondisi kedalaman di peta berkisar 2 s.d 5 meter. Pendekatan yang digunakan untuk menganalisis jenis sedimen adalah hubungan antara sudut datang gelombang akustik dan pantulan yang diterima, yang disebut Analisis Rentang Sudut (*Angular Range Analysis/ARA*) (Fonseca, 2009). Metode *ARA* dipilih karena memiliki resolusi sudut yang tinggi dan metode ini dapat memperoleh informasi lengkap tentang nilai pantulan sepanjang sudut proses pemancaran sinyal (Fonseca & Mayer, 2007). *ARA* akan menghasilkan nilai pantulan dari dasar laut (Hasan, dkk., 2014). Pantulan harus dipisahkan berdasarkan intensitasnya (Fahrulian, dkk., 2016). Sedangkan *sediment tools analysis (SAT)* menurut (Jayanto, dkk., 2021) ini digunakan untuk melengkapi proses pembuatan mosaik hambur balik akustik, menggunakan kurva model pendekatan jenis dasar laut berasal dari nilai intensitasnya terhadap respon



Gambar 1. Peta lokasi survei multibeam (Peta Laut No 85 A dari Pushidrosal)

sudut pancaran (*angle of incidence*). Validasi sedimen dilakukan dengan pengambilan sampel sedimen menggunakan *grab sampler* sebanyak 12 titik di area penelitian, kemudian dilaksanakan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan klasifikasi sedimen sesuai skala Wentworth.

Penelitian menggunakan data primer yaitu melakukan pengambilan data secara langsung, penelitian ini bertujuan memberikan gambaran hasil pengujian sedimen dengan nilai *Backscatter MBES* dan hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengklasifikasian sedimen halus berdasarkan nilai *backscatter* di laut Jakarta yang selama ini belum pernah dilakukan. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai intensitas sedimen dari *backscatter MBES* antara -15 db s.d -30 db dengan 3 klasifikasi sedimen yang didominasi oleh sedimen pasir halus. Berdasarkan nilai *backscatter MBES* diharapkan diketahui klasifikasi jenis sedimen sehingga berkontribusi dalam informasi perencanaan pengerukan alur pelabuhan terkait dengan jenis substrat bawah laut sehingga kegiatan pengerukan dapat dilakukan dengan aman dan efektif.

METODE

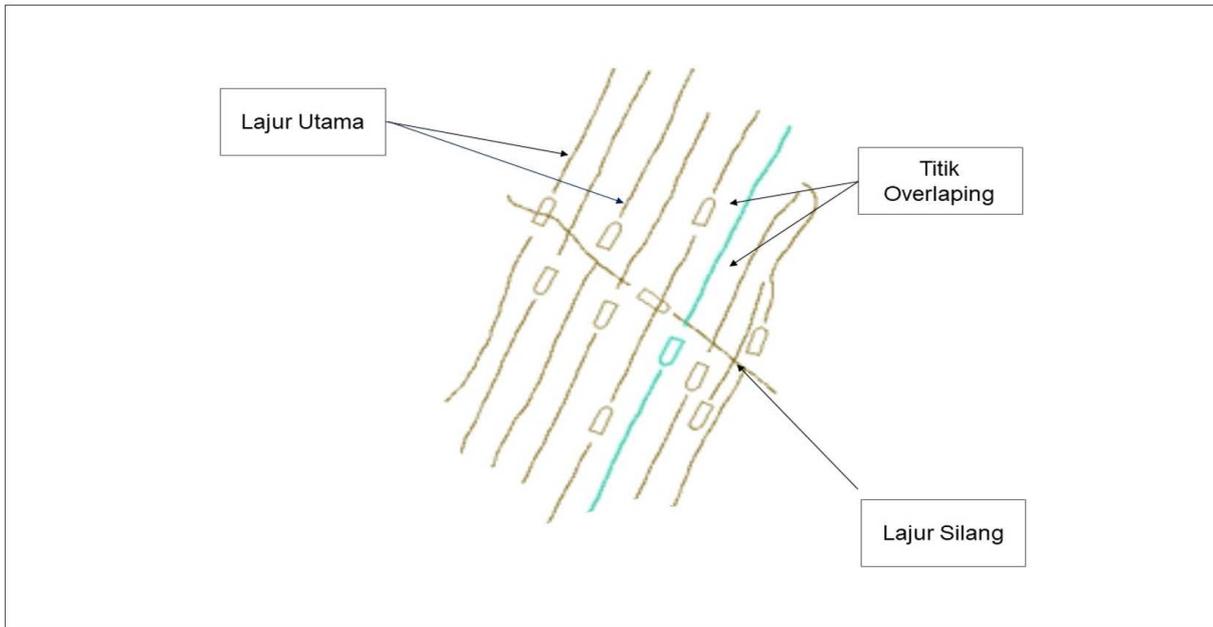
Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di alur Pelabuhan Rukindo, yang terletak di perairan Ancol Jakarta Utara. Area penelitian memiliki kedalaman berkisar 2 s.d 5 meter dengan posisi geografis terlihat (gambar 1). Rukindo adalah termasuk Kawasan perairan Jakarta utara yang dekat dengan Taman Impian Jaya Ancol, memiliki aktifitas pelayaran tinggi (Erdian, dkk., 2017). Pertimbangan utama dalam memilih lokasi ini, perairan Ancol memiliki pelabuhan untuk bersandar kapal-kapal dalam kepentingan perbaikan/perawatan teknis sehingga sangat dibutuhkan pemeliharaan alur untuk keamanan

pelayaran. Menurut Taohid, dkk (2017) perairan Ancol terjadi sedimentasi karena langsung menghadap laut Jawa dan banyaknya bangunan Pantai di wilayah tersebut.

Pengambilan data MBES

Lokasi pengambilan data bertempat di Perairan Teluk Jakarta – Ancol, DKI Jakarta (Gambar 1). Data primer yang diperoleh dari *software* akuisisi Teledyne PDS (format raw data *.pds). Data koreksi meliputi data *conductivity temperature and depth (CTD)*, data pasang-surut dan data catatan (*log book*) seperti rincian dimensi kapal/wahana survei dan konfigurasi *offset MBES*. Peralatan untuk survei antara lain *Multibeam Reson Seabat Teledyne T20*, sistem posisi *Differential Global Positioning System (DGPS)* Sistar, POS MV, *Inertial Motion Unit (IMU)*, *Applanix type 45* dan *Mini SVP Valeport*. Wahana pada proses akuisisi menggunakan kapal latihan milik STTAL. Pengambilan data mengikuti rencana survei yang telah ditentukan STTAL. Total lajur *MBES* berjumlah 18 lajur (Gambar 2). Kecepatan survei menggunakan wahana Kapal Latihan STTAL berkisar 3-5 knot dengan rata-rata kecepatan 4 knot. Proses survei pemeruman selama 3 hari termasuk pemasangan (*mounting*) seperangkat alat-alat *MBES* dengan akuisisi efektif selama 2 hari, yaitu tanggal 28 dan 29 Desember 2022. Kegiatan survei *MBES* menggunakan datum/ellipsoida WGS-84, proyeksi UTM, skala area survei *MBES* (1: 5000), zona waktu GMT+7 (WIB), zona grid 48S, sistem koordinat geografis dan grid UTM, Sentral meridian 115° T, *scale factor 0,9996*, *false easting 500.000 m*, *false northing 10.000.000 m*. Pengolahan dan pemodelan data *MBES* menggunakan *software Caris Hips and Ships seri 21.3* di laboratorium Hidro-Oceanografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL).



Gambar 2. Lajur tracking survei MBES

Pengambilan Grab Sampel Sedimen dan Uji Sedimen Skala Wentworth.

Peralatan lain yang digunakan adalah *grab sampler*; alat ini digunakan untuk mengambil sampel sedimen di area pemeruman yaitu 12 sampel, ditunjukkan pada Gambar 3. Sampel diambil di area yang diduga memiliki nilai intensitas yang berbeda-beda. Semua sampel sedimen dibawa ke laboratorium oseanografi biologi dan geologi Institut Pertanian Bogor (IPB) untuk dilaksanakan pengujian sedimen. Pengujian sampel sedimen berdasarkan skala Wentworth yaitu dengan 12 fraksi sedimen.

Metode klasik ini hingga sekarang masih digunakan

sedimen umum, seperti lempung, serpih, pasir, kerikil, dan batu besar (Wentworth, 1922) dalam penelitian (Hafizh, dkk., 2021)

Skala Wentworth menggambarkan dan membandingkan sedimen berdasarkan distribusi ukuran butir. Contohnya adalah pasir halus-kerikil yaitu jenis batuan sedimen yang terdiri dari butiran berukuran pasir (0,063-2 mm), sedangkan lanau-lempung terdiri dari partikel serpih dan lempung yang jauh lebih kecil (<0,063 mm). Berikut adalah dua belas fraksi ukuran butir untuk menentukan jenis sedimen Gambar 3.



Gambar 3. Proses pengambilan sedimen dan klasifikasi sedimen berdasarkan 12 fraksi ukuran butir berdasarkan skala wentworth .

Fraksi	Ukuran Butir (mm)	Keterangan*
I	>2 mm	Kerikil
II	2-1 mm	Pasir kasar sekali
III	1-0.5 mm	Pasir kasar
IV	0.5-0.25 mm	Pasir sedang
V	0.5-0.125 mm	Pasir halus
VI	0.125-0.063 mm	Pasir halus sekali
VII	0.063-0.02 mm	Lanau kasar
VIII	0.02-0.005 mm	Lanau sedang
IX	0.005-0.002 mm	Lanau halus
X	0.002-0.0005 mm	Lempung kasar
XI	<0.0005 mm	Lempung halus

*Berdasarkan Skala Wentworth (1922)

dalam survei-survei hidrografi dan oseanografi. Skala Wentworth untuk sedimen merupakan metrik yang digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran butiran dalam sedimen. Skala ini pertama kali diusulkan oleh Chester K. Wentworth pada tahun 1922. Skala ini didasarkan pada diameter butiran dan berkisar dari sangat halus (kurang dari 1/256 mm) hingga sangat kasar (lebih dari 256 mm). Kelas ukuran dinamai berdasarkan jenis

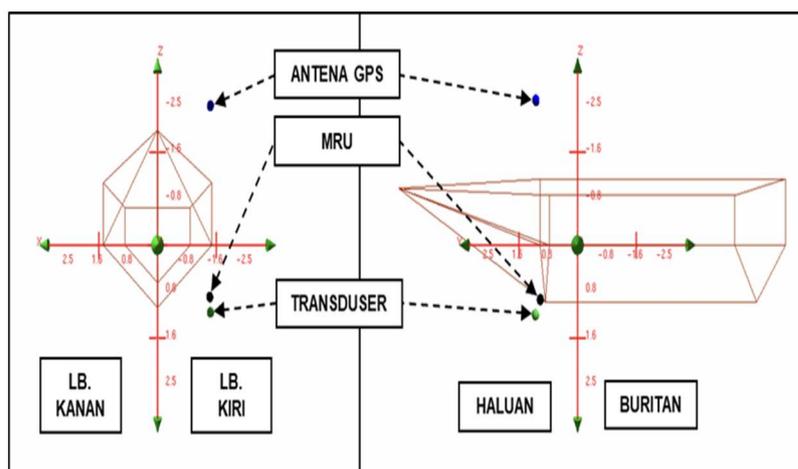
Pengolahan Data Pasang Surut

Pengamatan pasang surut (pasut) dilakukan selama 15 hari, mulai dari tanggal 21 Desember 2022 hingga 5 Januari 2023, oleh Mahasiswa Prodi Hidrografi STTAL. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui pergerakan vertikal air laut secara periodik yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi bulan, matahari dan bumi (Triatmodjo, 2012). Kegiatan pengamatan tersebut, didirikan satu

stasiun pasut yaitu di Pantai Indah Ancol dengan koordinat 06° 05' 49" LS 106° 52' 36" BT. Alat yang digunakan untuk pengamatan pasut adalah *Tide Master (Pressure) Valeport 206* dan palem untuk pembacaan secara manual. Pengamatan dilakukan dengan interval waktu satu jam. Pada dasarnya, dalam pengamatan pasut, datum vertikal merupakan nilai ketinggian yang ditentukan dari hasil pengamatan dalam periode waktu tertentu, yang digunakan sebagai referensi untuk menentukan tinggi titik di pantai atau kedalaman titik di laut (Ayuningtyas, 2016; Gill & Schultz, 2001).

Data pasang surut yang telah didapatkan secara langsung kemudian diolah dengan menggunakan metode Admiralty untuk memperoleh nilai MSL (*Mean Sea Level*), LLWL (*Lowest Lower Water Level*), dan HHWL (*Highest High Water Level*). Metode Admiralty melibatkan pengolahan data dengan mempertimbangkan komponen-komponen pasang surut untuk mendapatkan nilai yang diinginkan. Berdasarkan rumus yang digunakan oleh (Ongkosongo, 1989) adalah sebagai berikut:

- a. $MSL = A(S_0)$ (1)
- b. $LLWL = A(S_0) - [A(M_2) + A(S_2) + A(N_2) +$



Gambar 4. Sketsa konfigurasi pemasangan peralatan MBES di Kapal Latih STTAL

$$A(K1) + A(O1) + A(P1) + A(K2) + A(M4) + A(MS4)]$$
 (2)

- c. $HHWL = A(S_0) + [A(M_2) + A(S_2) + A(N_2) + A(K1) + A(O1) + A(P1) + A(K2) + A(M4) + A(MS4)]$ (3)

- d. Muka Surutan (Z_0): Jika amplitudo komponen pasut diketahui, maka nilai muka surutan dapat dihitung dengan $Z_0 = S_0 - 1.2(M_2 + K_2 + S_2)$ (4)

Penentuan tipe pasang surut dilakukan berdasarkan nilai indeks formzahl (F), yang diklasifikasi (Ongkosongo, 1989).

Pengukuran Offset

Pemasangan transduser MBES, antenna DGPS, dan sensor-sensor lain, umumnya terpasang pada lokasi yang berbeda apabila wahana survei tidak dirancang tempat khusus. Kapal latih STTAL adalah salah satu wahana survei yang tidak dirancang secara khusus untuk pemasangan peralatan survei pemeruman. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian posisi antara komponen multibeam dengan alat lainnya. Penyesuaian posisi dari peralatan perum dengan sistem referensi DGPS disebut sebagai kalibrasi *offset* statis. Pada penelitian Clarke (2003) membagi kapal menjadi sistem koordinat 3 dimensi, dimana titik tengah kapal sebagai pusat sumbu koordinat. Sumbu X dari titik tengah ke arah kanan dan kiri, sumbu Y dari titik tengah ke arah depan dan belakang, serta sumbu Z dari titik tengah ke arah bawah dan atas. Kalibrasi offset statis ini bertujuan untuk mengukur perbedaan posisi horizontal dan vertikal pada titik-titik pemeruman oleh MBES, sehingga koordinat posisi sebenarnya yang terekam akan dihitung sebagai posisi pada transduser, bukan pada antenna DGPS (Gambar 4).

Kalibrasi *pach* test

Kalibrasi *pach* test dilakukan untuk menentukan kesetimbangan sensor dengan mengukur kesalahan sudut antara transduser, sensor gerak IMU dan gyro (*positioning*) International Hydrographic Organization (IHO) (IHO, 2011). Adapun beberapa tahapan *pach* test dapat dilihat pada Tabel 1;

Uji Kualitas Data

Terhadap data hasil pengukuran batimetri harus dilaksanakan pengujian kualitas (*quality control*) Prosedur ini untuk menentukan probabilitas nilai sebenarnya dari ketidakpastian suatu pengukuran kedalaman, dan penentuan standar ketelitian survei hidrografi berdasarkan standar minimum ketelitian yang ditetapkan oleh IHO dalam *Special Publication 44 (S-44)* edisi keenam tahun 2020 (IHO, 2020). Data MBES yang

Tabel 1. Prosedur patch test dan perhitungannya

	<i>Latency Test</i>	<i>Pitch Test</i>	<i>Roll Test</i>	<i>Yaw Test</i>
Lajur dibutuhkan	2 lajur pada halu yang sama melintasi slope atau kedangkalan	2 pasang lajur dengan halu yang timbal balik dengan kecepatan	2 pasang lajur dengan halu timbal balik pada daerah datar	2 pasang jalur pada batimetri yang bercorak.
Koreksi telah dilaksanakan	<i>Offset</i> statis	<i>Latency test</i>	<i>Latency test, pitch test dan yaw test</i>	<i>Latency test, pitch test</i>
Metode Perhitungan	Menghitung perubahan jarak rata-rata selama melalui jalur	Menghitung perubahan jarak rata-rata selama melalui jalur	Menghitung perubahan jarak rata-rata selama melalui jalur	Menghitung perubahan jarak rata-rata selama melalui jalur
Visualisasi	Mencocokkan profil dan kontur yang didapatkan	Mencocokkan profil dan kontur yang didapatkan	Mencocokkan profil dan kontur yang didapatkan	Mencocokkan profil dan kontur yang didapatkan
Persamaan	$T D = \frac{da}{V_h - V_i}$	$\alpha = \tan^{-1} \frac{da/2}{depth}$	$\theta = \tan^{-1} \frac{(ds/da)}{X_i}$	$\gamma = \sin^{-1} \frac{(da/2)}{X_i}$

Dimana : TD = keterlambatan waktu (s)
 da = perbedaan jarak titik objek hasil pengukuran lajur 1 dan lajur 2
 Vh = kecepatan kapal tertinggi
 Vi = kecepatan kapal terendah
 Xi = jarak melintang relative terhadap beam ke-1
 ds = perbedaan kedalaman pengukuran lajur 1 dan lajur 2

Tabel 2. Standar ketelitian survei hidrografi (IHO S-44 edisi keenam 2020)

Orde	Orde	Orde	Orde 2
Ekklusif	Khusus	1A/1B	
a = 0.15 m	a = 0.25 m	a = 0.5 m	a = 5 m
b = 0.0075 m	b = 0.0075 m	b = 0.013 m	b = 0.023 m

akan di uji kualitas orde berdasarkan standar IHO (Tabel 2 dan 3).

Pengujian kualitas berdasarkan Orde dari IHO menggunakan persamaan sebagai berikut IHO S-44, 2020):

$$2\sigma = (a^2 + (b^2 * d^2))^{1/2}$$

Dimana:

2σ= Total standar error maksimal yang diijinkan pada kedalaman tertentu (*allowable error*) (*confidence level; CL 95% (2σ)*).

a²= Jumlah konstanta *error* yang dikuadratkan .

b²= Jumlah *error* yang dikuadratkan yang berhubungan dengan kedalaman.

d²= Kedalaman.

Angular Range Analysis (ARA) dan Sediment Tools Analysis (SAT)

Klasifikasi tipe sedimen melalui *backscatter MBES* menggunakan metode *ARA* dan *SAT*, dimana kedua metode tersebut sudah terdapat dalam perangkat lunak *Caris Hips and Ships*. *ARA* adalah teknik yang digunakan

dalam alat pemancar suara *MBES* untuk meningkatkan akurasi pemetaan dasar laut. *ARA* bekerja dengan menganalisis rentang sudut sinyal akustik yang diterima oleh alat pemancar suara *MBES* yang diilustrasikan pada Gambar 5.

ARA dapat memperbaiki kesalahan yang disebabkan oleh bentuk dasar laut atau orientasi alat pemancar suara *MBES* (Fonseca & Mayer, 2007). *ARA* yang menghasilkan perkiraan impedansi akustik, kekasaran, dan ukuran butir rata-rata dari area dasar laut yang terpapar suara menurut (Fonseca, dkk., 2009) adalah; *Backscatter*= *Surface backscatter (S_s)* + *Volume Backscatter (S_v)*

$$Surface\ backscatter = \sigma r(\theta, f) = F(\theta, f; \epsilon, \rho(\epsilon), v(\epsilon), \delta(\epsilon), \omega 2\gamma$$

dimana:

θ = *interface* hambur balik penampang melintang per unit angle

f = frekuensi (hz)

ρ = rasio densitas sedimen terhadap densitas masa air

v = rasio kecepatan suara pada sedimen terhadap kecepatan suara kolom air

δ = Parameter rasio imajiner terhadap jumlah

Tabel 3. Orde survei untuk keselamatan navigasi (IHO S-44 edisi keenam 2020)

No	Kelas	Deskripsi area survei
1.	Orde Eksklusif	Orde Eksklusif merupakan tambahan dari Orde Khusus IHO dengan lebih banyak ketentuan yang ketat dan persyaratan cakupan data. Digunakan untuk wilayah perairan dangkal (pelabuhan, area berlabuh, area kritis alur pelayaran dan kanal) dimana ada pengecualian pada penggunaan water colum dan area kritis yang spesifik secara optimal dengan under keel clearance minimum dan karakteristik dasar laut yang berpotensi membahayakan kapal. Untuk orde ini, pencarian fitur 200% dan liputan batimetri 200% dibutuhkan. Persyaratan ukuran fitur yang dideteksi lebih dituntut dari pada Orde khusus
2.	Orde Khusus	Orde ini digunakan untuk area-area dimana under keel clearance bersifat kritis. Oleh karena itu, deteksi fitur 100% dan liputan batimetri 100% dibutuhkan, dengan persyaratan ukuran fitur yang dideteksi pada pendeteksian ini lebih dituntut dari pada Orde 1a. Contoh area-area yang mungkin membutuhkan Orde Khusus adalah di area berlabuh, pelabuhan, dan area kritis alur pelayaran, dan kanal.
3.	Orde 1a	Orde ini digunakan untuk area-area dimana fitur dasar laut menjadi perhatian penting bagi kapal permukaan yang melintas pada area tersebut, tetapi under keel clearance dianggap tidak kritis. Pencarian fitur 100% dibutuhkan guna mendeteksi fitur dengan ukuran yang spesifik. Liputan batimetri kurang dari atau sama dengan 100% tepat digunakan untuk mendapatkan kedalaman minimal dari semua fitur signifikan sehingga penggambaran topografi dasar laut cukup memadai. Under keel clearance menjadi kurang kritis seiring dengan penambahan kedalamannya, termasuk ukuran fitur yang dideteksi pada kedalaman area lebih dari 40 meter. Contoh area yang mungkin membutuhkan survei Orde 1a adalah survei di area pesisir, pelabuhan, area berlabuh, alur pelayaran dan kanal
4.	Orde 1b	Orde ini untuk wilayah-wilayah perairan yang dilintasi oleh kapal permukaan dengan penggambaran umum dasar laut yang dianggap cukup. Minimal, liputan batimetri 5% yang tersebar merata dibutuhkan untuk area ini. Ini berarti bahwa beberapa fitur tidak akan terdeteksi, meskipun jarak antara area liputan batimetrinya akan membatasi besarnya ukuran fitur-fitur tersebut. Orde survei ini hanya disarankan ketika under keel clearance dianggap bukan masalah. Contohnya adalah suatu area dengan karakteristik fitur dasar laut yang akan membahayakan navigasi kapal permukaan di wilayah tersebut cukup rendah.
5.	Orde 2	Untuk wilayah-wilayah dimana kedalaman dan penggambaran umum dasar laut dianggap cukup. Minimal, Liputan batimetri 5% tersebar merata dari area survei. Disarankan untuk survei Orde 2 dilaksanakan di area yang memiliki kedalaman lebih dari 200 meter. Ketika kedalaman melebihi 200 meter, keberadaan fitur yang cukup besar yang membahayakan navigasi di permukaan dan masih belum terdeteksi oleh survei Orde 2 adalah dianggap tidak mungkin.

gelombang suara pada sedimen
 ω^2 = kekuatan spektral relief dasar perairan

tool Grain Size Table. Selanjutnya dilaksanakan perbandingan terhadap hasil *SAT* dengan penelitian sebelumnya, dan contoh sedimen di area penelitian setelah dilaksanakan pengujian skala *wentworth* untuk mengetahui karakteristik sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan profil dasar laut menggunakan *MBES* harus dilaksanakan dengan beberapa koreksi agar keakuratan data yang dihasilkan dapat memenuhi kriteria IHO. Sedangkan untuk penentuan karakteristik sedimen diperlukan pengolahan batimetri kemudian analisa *backscatter MBES* dengan metode *ARA* yang berupa data mosaik, setelah itu diklasifikasikan menggunakan *SAT*. Dari klasifikasi tersebut akan dikelompokkan warna tiap sedimen dan besaran partikel sedimen dasar laut melalui

Koreksi *patch test MBES*

Koreksi *patch test* adalah tahap pertama yang diperlukan dalam survei *MBES* jenis apa pun. *Patch test* dirancang untuk menentukan konfigurasi statis secara tepat dari *sonar head (roll, pitch, yaw)* dan latensi dengan penerimaan *DGPS (D, Chedru, dkk., 2000)*. Hasil dari *patch test* ditunjukkan pada Gambar 6 yang didapatkan

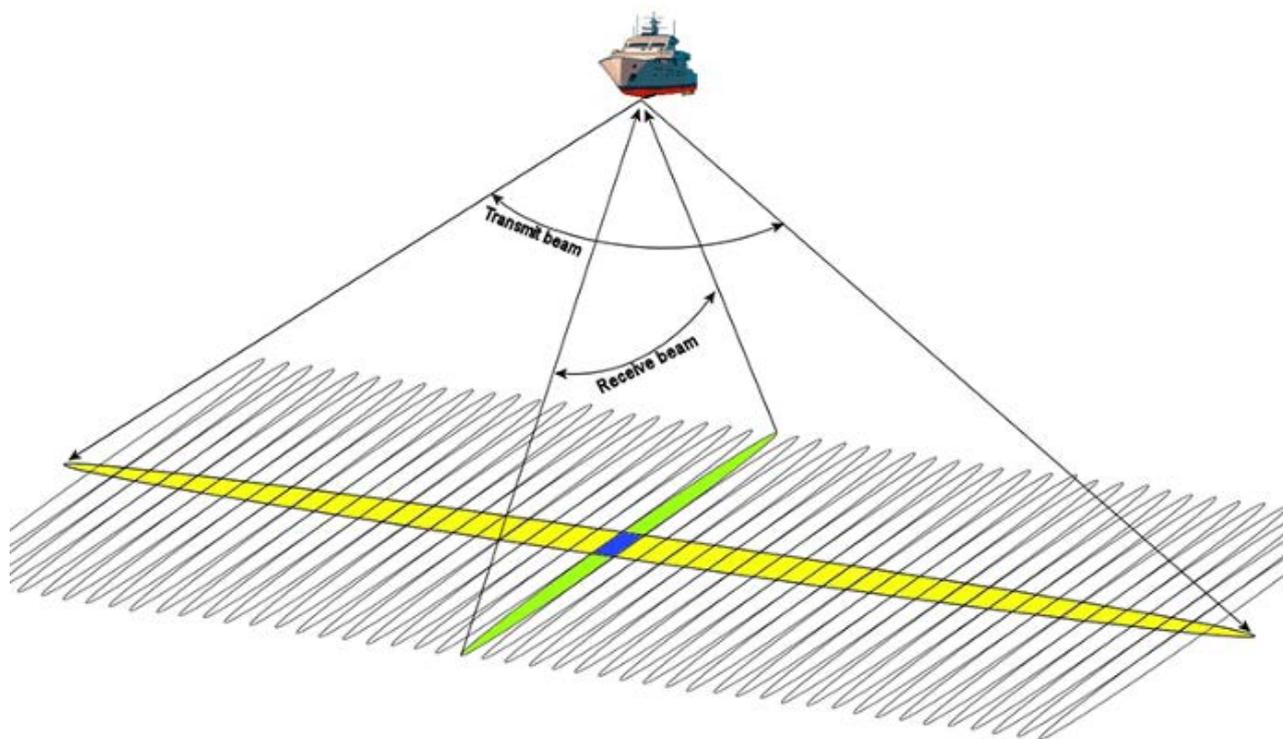
dengan dua lajur utama dan satu lajur silang di area yang terdapat *slope*.

Berdasarkan hasil *patch test MBES* diperoleh nilai *roll* sebesar 0,15, *pitch* sebesar -1,44, dan *yaw* sebesar -2,36. Nilai ini menggambarkan konfigurasi statis *sonar head*. *Roll* mengacu pada rotasi *sonar head* di sekitar sumbu longitudinalnya mengacu pada rotasi *sonar head* di sekitar sumbu transversalnya, mengindikasikan rotasi ke bawah pada sumbu tersebut. *Yaw* mengacu pada rotasi kepala sonar di sekitar sumbu vertikalnya, pergeseran ke arah berlawanan pada sumbu tersebut. Hasil nilai-nilai

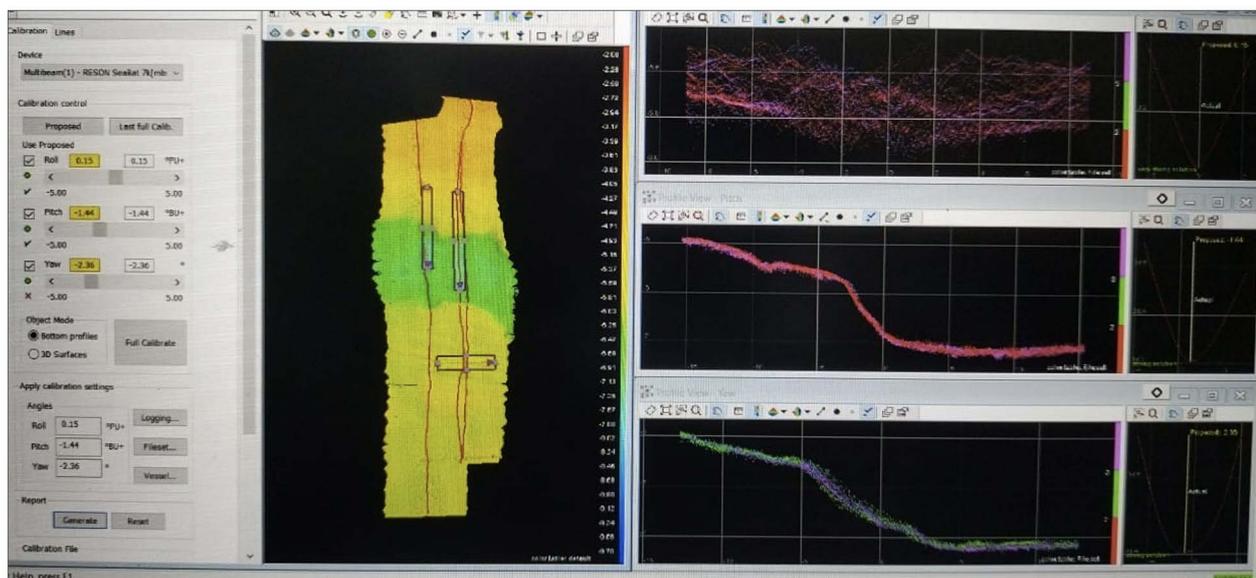
roll, *pitch*, dan *yaw* penggunaan *MBES* dinilai memenuhi toleransi (Haryanto, dkk., 2021).

Koreksi *SVP*

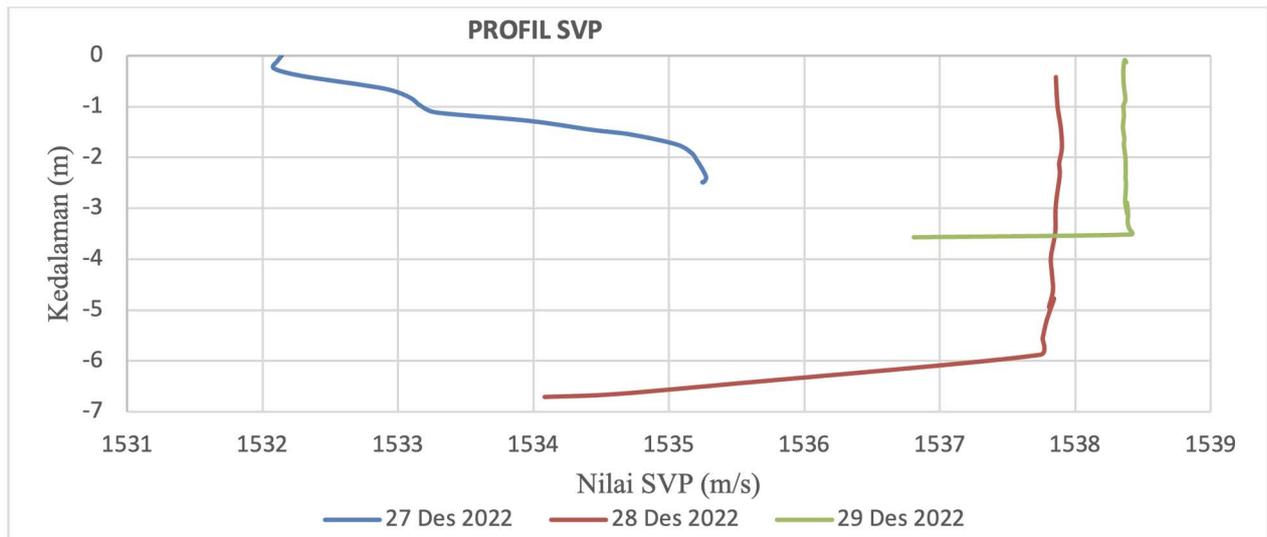
Koreksi *SVP* ditunjukkan Gambar 7, sangat penting dilakukan dalam survei batimetri, dimana gelombang akustik yang merambat melalui kolom air lebih dipengaruhi oleh suhu, salinitas dan kedalaman, ketiga variabel tersebut saling berpengaruh. Nilai *SVP* berbanding lurus terhadap temperatur dan berbanding terbalik terhadap salinitas (Sumirang, Pranowo, & Surya,



Gambar 5. Menunjukkan Contoh Pengumpulan Data *Backscatter MBES* (<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/marine/survey-techniques/backscatter>)



Gambar 6. Koreksi *Patch Test MBES Pitch, Roll dan Yaw*.



Gambar 7. Profil SVP Selama Tiga Hari.

2020). Berikut adalah tampilan profil kecepatan suara selama tiga hari pengambilan data.

Berdasarkan Gambar 7 terlihat adanya peningkatan nilai SVP pada tanggal 28 dan 29 hal ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan temperatur sehingga nilai SVP bertambah. Informasi SVP digunakan untuk

mengkoreksi kecepatan suara pada setiap kedalaman yang diukur oleh MBES. Nilai maksimal dan minimal kecepatan suara selama tiga hari pemeruman ditunjukkan pada Tabel 4.

Pada tanggal 28 dan 29 Desember tidak ada perbedaan yang signifikan dan relatif lebih tinggi

Tabel 4. Nilai Maksimal Dan Minimal Kecepatan Suara Selama 3 Hari

Tanggal/bulan/tahun	Nilai	Kedalaman (m)	Kec. Suara (m/s)
27 Desember 2022	Maks	2.15	1535.67
	Min	1.12	1533.28
28 Desember 2022	Maks	1.81	1537.90
	Min	5.10	1537.76
29 Desember 2022	Maks	3.11	1537.39
	Min	2.02	1537.37

Tabel 5. Konstanta harmonik pasang surut

Tidal Constituent	Amplitudo (cm)	Phase (°)
So	63	-
M2	4	295
S2	3	308
N2	2	282
K1	14	149
O1	8	117
M4	1	138
MS4	1	105
K2	1	308
P1	5	149

dibandingkan dengan tanggal 27 Desember. Berdasarkan buku catatan survei (*logbook*) telah terjadi hujan pada waktu pengambilan data tanggal 27 Desember, sehingga terjadi penurunan temperatur dan menyebabkan penurunan nilai SVP. Sesuai informasi dari BMKG prakiraan cuaca pada bulan Desember adalah saat musim hujan (BMKG, n.d.)

Koreksi Pasang surut

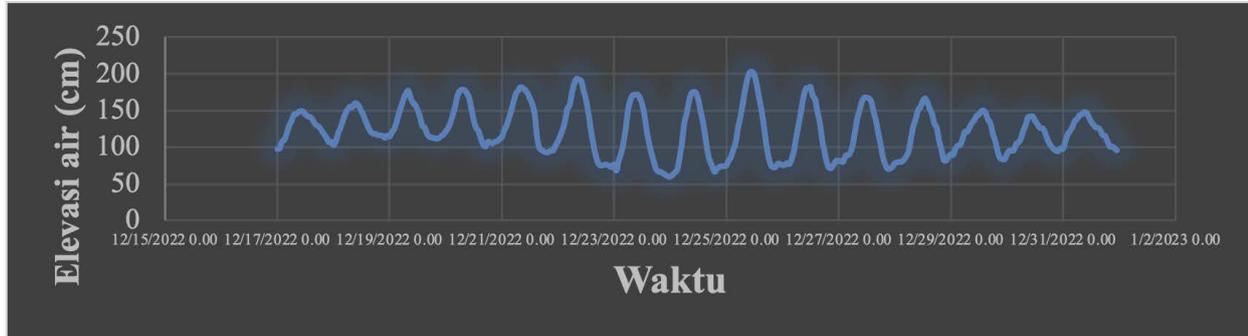
Koreksi pasang surut digunakan dalam pengolahan data MBES untuk mereduksi nilai kedalaman dan dilakukan dengan menggunakan *tide editor* dalam

Tabel 6. Eleveasi muka air laut

Elevasi Muka Air Laut	Amplitudo (cm)
Mean Sea Level (MSL)	63
Lower Low Water Level (LLWL)	24
Higher High Water Level (HHWL)	102
Muka Surutan (Zo)	51

software *Caris hips ships*. Kondisi pasang surut berkaitan dengan *chart datum* untuk memastikan keamanan navigasi pelayaran. Analisis pasang surut menghasilkan konstanta harmonik utama seperti terlihat pada Tabel 5 dan elevasi muka air laut Tabel 6.

Berdasarkan grafik pasang surut Gambar 8 dan perhitungan indeks formzahl dari Tabel 5 didapatkan nilai



Gambar 8. Profil pasang surut selama akuisisi data MBES.

indeks 2,974, dengan tipe pasang surut di daerah penelitian adalah campuran condong ke harian tunggal. Hal ini sesuai dengan pendapat (Wyrski, 1961) yang menyatakan bahwa tipe pasang surut campuran condong ke harian tunggal, dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Untuk koreksi kedalaman laut terhadap surut terendah maka dilakukan perhitungan *chart datum*, yang menghasilkan nilai LLWL 24 cm.

Analisa Kualitas Data MBES

Koreksi pengukuran kedalaman perairan sangat menentukan tingkat keakuratan data batimetri. Data di titik koordinat pada lokasi yang sama tetapi diukur pada waktu yang berbeda tersebut digunakan untuk menilai keakuratan pengukuran, toleransi perbedaannya harus sesuai dengan standard IHO pada orde pengukuran yang dimaksud.

Hasil klasifikasi dilakukan dengan satu lajur utama dan satu lajur silang yang merupakan metode efektif menurut Kusworo, dkk (2019). Hasil menunjukkan bahwa area penelitian perairan Jakarta termasuk orde IHO Eksklusif, hal ini karena lokasi survei dekat dengan pelabuhan tempat sandar yaitu di dermaga Marina Ancol dengan kedalaman berkisar maksimal antara 5 - 11 meter dengan rata-rata kedalaman 3 meter. Dari uji data dengan lajur silang, menunjukkan persentase sebesar 97,57% masuk kedalam orde eksklusif dan khusus.

Analisa profil Batimetri Dasar laut

Perairan area penelitian di laut Ancol Jakarta secara umum adalah perairan dangkal, pada Peta Laut 85 buatan Pushidrosal (Gambar 9) perairan Rukindo ditunjukkan bahwa kedalaman tidak melebihi 6 meter, hal ini memiliki indikasi adanya sedimentasi yang tinggi. Dengan banyaknya kapal yang keluar masuk pelabuhan harus sering dilaksanakan analisa profil batimetri untuk

mencegah kecelakaan dilaut akibat kedangkalan, sehingga perlu dilaksanakan analisis profil dasar laut untuk mengetahui *least deep* suatu perairan (Asmoro, dkk., 2018).

Hasil dari survei batimetri di area penelitian merupakan perairan dangkal dengan sedimentasi yang tinggi, sehingga untuk keamanan pelayaran dan navigasi

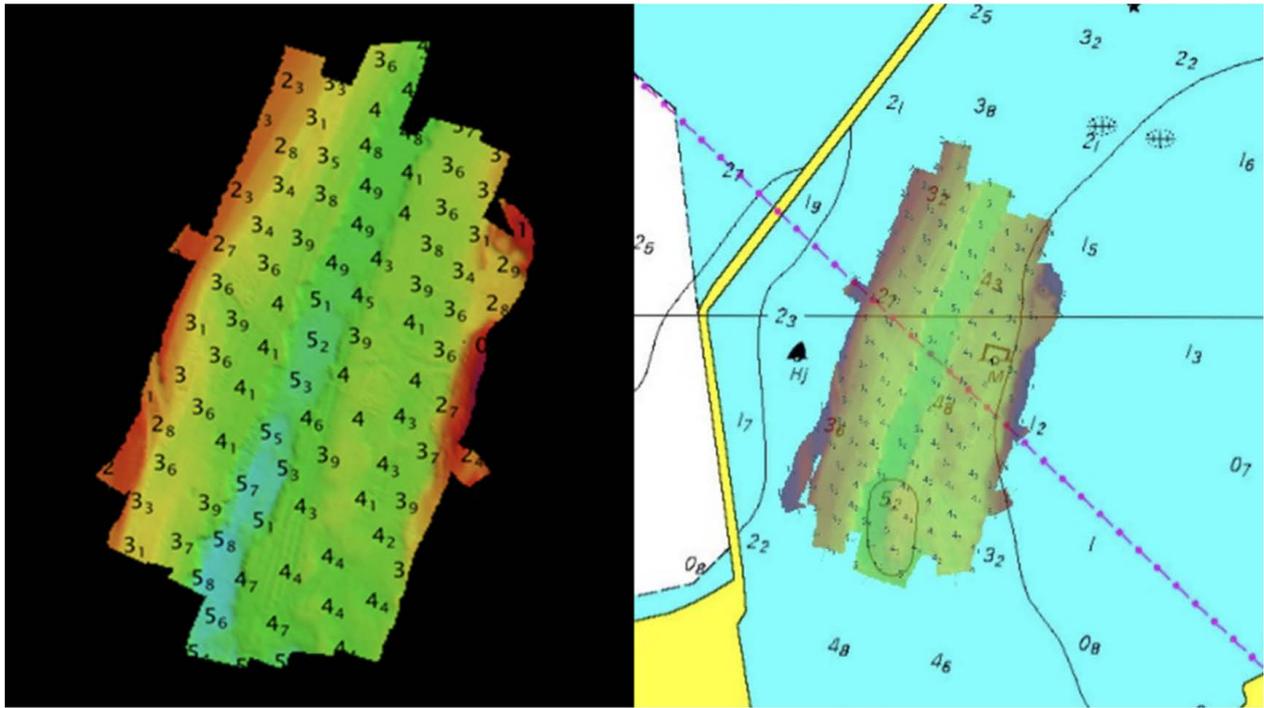
diperlukan pengelolaan yang tepat terhadap alur pelabuhan. Profil batimetri di area penelitian direpresentasikan pada Gambar 10. Profil bawah laut dengan kedalaman bervariasi yaitu antara 2 s.d 5 meter, hasil *surface* batimetri didapatkan gambar dua dimensi yang menunjukkan terdapat alur yang pernah dilakukan pengerukan hingga kedalaman menjadi 4 s.d 5 meter (hijau dan biru), pengerukan tersebut kemungkinan dilakukan untuk mencegah terjadinya pendangkalan, namun disisi barat dan timur terjadi pendangkalan sedimen hingga kedalaman 2 meter (berwarna merah). Profil dasar laut hasil penelitian ini setelah di *overlay*-kan dengan peta Pushidrosal tidak terjadi perbedaan kedalaman yang signifikan. Pada peta Pushidrosal terdapat kabel melintang di area penelitian, namun dari analisa profil dasar laut kabel tersebut tidak terlihat, karena sesuai aturan, kabel harus tertanam di dasar laut.

Analisa nilai Backscatter MBES dan pengujian sedimen skala Wentworth

Hasil dari pengamatan nilai *backscatter* (Gambar 10) didapatkan setelah melakukan *surface* batimetri. Pada area *surface* batimetri dilakukan pengeplotan titik pengambilan sampel sedimen (b), kemudian dilaksanakan pengidentifikasian nilai *ARA* dan didapatkan *mozaik* (c), setelah itu dilaksanakan pengklasifikasian menggunakan *SAT* ditunjukkan pada gambar (a).

Berdasarkan Gambar 10 (a) dapat diketahui bahwa hasil dari *SAT* daerah pemeruman memiliki nilai intensitas *backscatter* -14 s.d -40 dB, warna hijau tua dan hijau muda memiliki nilai intensitas -25 s.d -32 dB, dari hasil interpretasi tersebut dilakukan pengambilan dan analisis sampel sedimen dengan posisi Gambar 10 (b) dan hasil uji sedimen ditampilkan dalam Tabel 7 dan Tabel 8.

Persentase sedimen pada stasiun 1 s.d stasiun 6 di dominasi sebaran sedimen pasir halus dan halus sekali sesuai diameter sedimen skala Wentworth.



Gambar 9. Profil dasar laut area penelitian

Berdasarkan pengamatan visual, area penelitian merupakan area alur masuk dermaga dimana terdapat *break water* yang berfungsi sebagai pertahanan pelabuhan, melindungi kapal dan struktur pelabuhan dari dampak langsung gelombang besar sehingga area yang relatif tenang dan kapal berlabuh dengan aman (IADC, 2020). Perairan tenang seperti perairan Rukindo dapat menjadi tempat deposisi pasir halus dan halus sekali, yaitu ketika air melambat partikel yang lebih kecil cenderung mengendap, membentuk lapisan sedimen di dasar perairan (Fitri, Hashim, Abolfathi, & Maulud, 2019).

Pada tabel 8 prosentase sedimen di stasiun 7 s.d stasiun 12 didominasi oleh pasir sedang, pasir halus dan pasir halus sekali. Hasil sebaran sedimen stasiun 1 s.d stasiun 12 sama halnya dengan penelitian sampling sedimen di wilayah pesisir Jakarta Utara oleh (Oktiarini, dkk., 2015) yaitu sedimen didominasi pasir.

Faktor faktor yang mempengaruhi distribusi sedimen ini selain lokasi penelitian merupakan perairan yang tenang juga tidak ada Sungai yang mengalir kearah area penelitian. Kondisi konsentrasi pasir sedang, pasir halus dan halus sekali disebabkan oleh arus pasang surut yang terjadi perairan Rukindo sesuai penelitian Taohid, dkk (2017) kondisi penyebaran sedimen di Perairan Ancol dipengaruhi oleh pola arus pasang surut. Kondisi pasang arus bergerak ke arah timur-tenggara sedangkan saat kondisi surut arus bergerak kearah barat-barat laut.

Berdasarkan Tabel 9 posisi pengambilan sampel sedimen Stasiun 1 dan 2. Hasil uji sedimen skala Wentworth Keduanya menghasilkan "pasir halus", namun kedua stasiun tersebut tidak masuk kedalam area

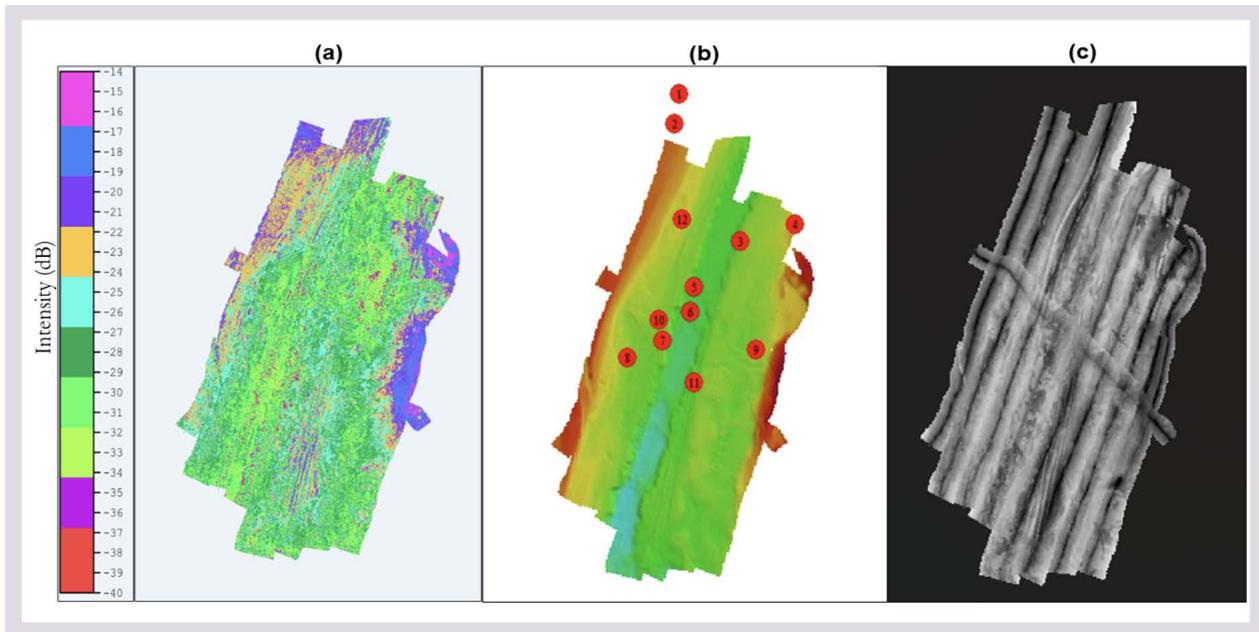
pemeruman, sehingga tidak bisa dianalisa nilai *backscatter*-nya.

Stasiun 3 memiliki nilai intensitas *backscatter MBES* yang sangat rendah (-30.53 dB). Hal ini bisa mengindikasikan bahwa sedimen di stasiun ini mungkin memiliki sifat yang lebih halus dibandingkan dengan sedimen di stasiun-stasiun lainnya. Nilai *backscatter* yang rendah bisa menunjukkan adanya keberadaan endapan yang lebih halus di dalam sedimen (Wienberg, 2005) (Alodia, dkk., 2023).

Stasiun 7 memiliki nilai intensitas *backscatter MBES* sebesar -26.609 dB. Nilai *backscatter* lebih besar menunjukkan bahwa sedimen pada stasiun memiliki tekstur yang lebih kasar atau ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan sedimen di stasiun lainnya (Fonseca & Mayer., 2007). Hasil uji sedimen juga menunjukkan bahwa stasiun ini menghasilkan "pasir sedang", yang mendukung asumsi bahwa sedimen di stasiun ini memiliki ukuran partikel yang lebih besar.

Stasiun 8, 9, dan 10 semuanya menghasilkan "pasir halus sekali" berdasarkan hasil uji sedimen. Meskipun memiliki hasil uji yang sama, nilai intensitas *backscatter MBES* di setiap stasiun tersebut cukup berbeda. Stasiun 8 memiliki nilai -23.715 dB, stasiun 9 memiliki nilai -29.853 dB, dan stasiun 10 memiliki nilai -26.254 dB. Perbedaan ini bisa mengindikasikan perbedaan dalam tekstur atau komposisi sedimen di setiap stasiun mempengaruhi nilai *backscatter* (Wienberg, 2005) (Fonseca & Mayer., 2007) (Alodia, dkk., 2023).

Stasiun 11 memiliki nilai intensitas *backscatter MBES* yang relatif tinggi (-15.69 dB). Nilai ini menunjukkan adanya perbedaan dalam tekstur atau komposisi sedimen di stasiun ini dibandingkan dengan stasiun-stasiun lainnya. Hal ini mungkin mengindikasikan



Gambar 10. Profil nilai Intensitas *Backscatter* (a), base surface area penelitian dan 12 titik pengambilan sampel sedimen (b), *Mozaik backscatter* (c).

Tabel 7. Presentase sedimen stasiun (St) 1 s.d 6 berdasarkan skala Wentworth

No	Presentase Sedimen di tiap stasiun (%)						Keterangan*
	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	
1	0.238	0.198	0.000	0.084	0.000	0.000	Kerikil
2	0.809	0.783	0.387	0.977	1.389	0.943	Pasir kasar sekali
3	1.285	3.231	6.248	1.991	15.047	10.587	Pasir kasar
4	4.524	11.241	18.961	6.994	19.444	22.138	Pasir sedang
5	48.900	36.898	26.569	52.812	24.867	26.623	Pasir halus
6	30.831	33.301	29.661	25.219	19.369	18.571	Pasir halus sekali
7	6.340	6.364	6.395	0.923	6.643	8.055	Lanau kasar
8	2.354	2.881	4.375	3.891	4.312	4.222	Lanau sedang
9	2.103	2.447	3.586	2.961	3.926	4.279	Lanau halus
10	1.724	1.990	2.596	3.015	4.227	3.414	Lempung kasar
11	0.892	0.666	1.223	1.132	0.776	1.166	Lempung halus

Tabel 8. Presentase sedimen stasiun (St) 7 s.d 12 berdasarkan skala Wentworth

No	Presentase Sedimen di tiap stasiun (%)						Keterangan*
	St 7	St 8	St 9	St 10	St 11	St 12	
1	0.000	0.000	0.000	0.034	0.000	0.078	Kerikil
2	1.399	0.166	0.489	2.325	0.714	0.637	Pasir kasar sekali
3	13.638	2.145	4.670	16.773	9.233	2.882	Pasir kasar
4	24.370	11.154	18.776	20.366	21.062	11.237	Pasir sedang
5	22.519	33.682	29.712	22.189	29.072	29.053	Pasir halus
6	15.600	34.088	27.992	23.554	18.799	27.947	Pasir halus sekali
7	5.408	6.303	6.947	5.605	7.282	12.073	Lanau kasar
8	5.304	3.706	3.821	2.902	4.429	7.465	Lanau sedang
9	4.770	3.277	3.288	2.885	4.655	4.924	Lanau halus
10	5.385	3.560	2.937	2.588	3.567	2.427	Lempung kasar
11	1.608	1.919	1.369	0.779	1.186	1.277	Lempung halus

Tabel 9. Nilai Intensitas MBES dan hasil uji sedimen skala wenthworth tiap stasiun (St)

Nama Stasiun	Posisi Pengambilan Sampel Sedimen	Nilai Intensitas Backscatter MBES (dB)	Hasil Uji Sedimen Skala Wenthworth
St 1	06° 06' 24,9" S - 106° 51' 43,9" T		pasir halus
St 2	06° 06' 25,6" S - 106° 51' 43,8" T		pasir halus
St 3	06° 06' 28,4" S - 106° 51' 45,5" T	-30.53	pasir halus sekali
St 4	06° 06' 28,0" S - 106° 51' 46,9" T	-25.817	pasir halus
St 5	06° 06' 29,5" S - 106° 51' 44,3" T	-29.763	pasir halus
St 6	06° 06' 30,1" S - 106° 51' 44,2" T	-19.45	pasir halus
St 7	06° 06' 30,8" S - 106° 51' 43,5" T	-26.609	pasir sedang
St 8	06° 06' 31,2" S - 106° 51' 42,6" T	-23.715	pasir halus sekali
St 9	06° 06' 31,0" S - 106° 51' 45,9" T	-29.853	pasir halus sekali
St 10	06° 06' 30,3" S - 106° 51' 43,4" T	-26.254	pasir halus sekali
St 11	06° 06' 31,8" S - 106° 51' 44,3" T	-15.69	pasir halus
St 12	06° 06' 27,9" S - 106° 51' 44,0" T	-28.296	pasir halus

keberadaan sedimen yang lebih kasar atau lebih padat di stasiun 11. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Farihah, dkk., 2020) nilai *backscatter* pasir berkisar -14 dB s.d -29 dB, sama dengan penelitian menurut (Sitanggang, dkk., 2021) nilai *backscatter* pasir -14 dB sd -29 dB. Pada penelitian (Jayanto, dkk., 2021) nilai *backscatter* sedimen lempung pasir berkisar -23,23 dB hingga - 21,13 dB. Menurut penelitian Adi (2017) nilai *backscatter* pasir berkisar antara -22 dB s.d -17 dB. Secara umum sedimen yang berada di area penelitian ini adalah pasir, yang mana nilai *backscatter*nya dianalisa dengan *software* caris memiliki nilai intensitas berkisar -15.69 dB s.d -30.53 dB.

Berdasarkan Tabel 8 terjadi ketidak-konsistensi nilai *backscatter*, hal ini diduga karena kesulitan pengambilan grab sampel pada posisi titik stasiun yang telah ditentukan, sehingga dalam penelitian kedepan perlu di bandingkan dengan pengambilan data *coring* agar didapatkan posisi yang tetap sesuai titik stasiun dan dapat menyamakan posisi pada peta pada waktu akuisisi data, namun dari hasil ini dapat dianalisa bahwa nilai intensitas di area pemeruman berdasarkan hasil *backscaterr MBES* yaitu berkisar antara -15.69 dB s.d -30.53 dB dengan 3 karakteristik tipe sedimen yaitu pasir sedang, pasir halus dan pasir halus sekali.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini dapat disimpulkan yaitu penentuan profil dasar laut menggunakan *MBES* dalam mendukung kegiatan pengerukan alur Pelabuhan untuk keselamatan navigasi harus memenuhi beberapa koreksi agar keakuratan data terpenuhi, koreksi tersebut yaitu mulai dari pelaksanaan *offset* peralatan, *pacth test*, surutan dan kualitas data. Kedalaman area penelitian berkisar 2 s.d 5meter termasuk ordo eksklusif dan khusus. Hasil *surface* batimetri didapatkan bahwa di area alur pernah dilakukan

pengerukan kedalaman menjadi 4 s.d 5 meter. Profil dasar laut hasil penelitian ini setelah di *overlay*-kan dengan peta laut Indonesia tidak terjadi perbedaan kedalaman yang signifikan. Karakteristik sedimen di laut Jakarta menggunakan *backscatter MBES* didapatkan nilai intensitas -15.69 dB s.d -30.53 dB dengan hasil uji sampel sedimen didapatkan tiga klasifikasi sedimen yaitu pasir sedang, pasir halus dan pasir halus sekali, diduga sebaran sedimen di wilayah penelitian disebabkan oleh pengaruh arus pasang surut.

Saran penelitian kedepannya untuk mendapatkan keakuratan posisi pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan *coring* agar didapatkan posisi tetap titik stasiun dengan posisi *backscatter MBES* dan penting adanya kajian oseanografi penyebab sebaran sedimen di wilayah penelitian.

DAFTAR ACUAN

- Adi, A. P., 2017. Integrasi Data Multibeam Batimetri Dan Mosaik Backscatter Untuk Klasifikasi Tipe Sedimen. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 77-84.
- Alodia, G., Nurhidayat, Sobarudin, D., Adrianto, D., Dwinovantyo, A., Solikin, S., . . . Mccaig, A., 2023. Discovery Of A Conical Feature In Halmahera Waters, Indonesia: Traces Of A Late-Stage Hydrothermal Activity. *Geoscience Letters*, 10:47 <https://doi.org/10.1186/S40562-023-00302-W>.
- Asmoro, N. W., Pratomo, G. D., Negara, A. K., & Santoso, A. I., 2018. Studi Penentuan Dimensi Dan Posisi Wreck Menggunakan Data Batimetri – Data Kolom Air Multibeam Echosounder (Studi Kasus Di Perairan Teluk Jakarta). *Jurnal Chart Datum*, Vol. 4 No. 2 (2018): Jurnal Chart Datum.

- Bmkg, 2022. <https://www.bmkg.go.id/Berita/?P=Analisis-Dinamika-Atmosfer-Dasarian-I-Desember-2022&Lang=Id&Tag=Dinamika-Atmosfer>.
- Clarke, J. E., 2003. A Reassessment Of Vessel Coordinate Systems: What Is It That We Are Really Aligning? *Us Hydrographic Conference 2003*, 1-12.
- Craig, B. J., Jonathan, B., Brissette, M., & Gazz, V., 2019. Multispectral Multibeam Echo Sounder Backscatter As A Tool For Improved Seafloor Characterization. *Geosciences*, 9(3), 126; <https://doi.org/10.3390/Geosciences9030126>.
- Guruh, Chedru, J., Daniel, S., & Maillard, E., 2000. The Patch Test: A Comprehensive Calibration Tool For Multibeam Echosounders. *Oceans 2000 Mts/Ieee Conference And Exhibition. Conference Proceedings (Cat. No.00ch37158)*, Providence, Ri, Usa., Pp. 1655-1661 Vol.3,
- Erdian, O., Satriadi, A., & Atmodjo, W., 2017. Studi Sebaran Jenis Sedimen Dasar Di Perairan Pantai Marina Ancol Jakarta. *Jurnal Oseanografi*, Halaman 203 – 212.
- Fahrulian, Manik, H., Jaya, I., & Udrek., 2016. Angular Range Analysis (Ara) And K-Means Clustering Of Multibeam Echosounder Data For Determining Sediment Type. *Ilmu Kelautan*, Vol 21(4):177-184.
- Fahrulian, Manik, H., Jaya, I., & Udrek., U., 2016. Angular Range Analysis (Ara) And K-Means Clustering Of Multibeam Echosounder Data For Determining Sediment Type. *Journal Of Marine Sciences*, 21(4):177-184.
- Fitri, A., Hashim, R., Abolfathi, S., & Maulud, K., 2019. Dynamics Of Sediment Transport And Erosion-Deposition Patterns In The Locality Of A Detached Low-Crested Breakwater On A Cohesive Coast. *Mdpi Water*, 11(8), 1721; <https://doi.org/10.3390/W11081721>.
- Fonseca., 2009. Angular Range Analysis Of Acoustic Themes From Stanton Banks Ireland: A Link Between Visual Interpretation And Multibeam Echosounder Angular Signatures. *Applied Acoustics*, 70(10):1298-1304.
- Fonseca, & Mayer., 2007. Remote Estimation Of Surficial Seafloor Properties Through The Application Angular Range Analysis To Multibeam Sonar Data. *Marine Geophysical Research*, 28(2):119-126 [Doi:10.1007/S11001-007-9019-4](https://doi.org/10.1007/S11001-007-9019-4).
- Fonseca, L., & Mayer, L., 2007. Remote Estimation Of Surficial Seafloor Properties Through The Application Angular Range Analysis To Multibeam Sonar Data. *Mar. Geophysical Res.*, 28(2):119-126.
- Fonseca, L., Brown, C. J., Calder, B., & Mayer, L., 2009. Angular Range Analysis Of Acoustic Themes From Stanton Banks Ireland: A Link Between Visual Interpretation And Multibeam Echosounder Angular Signatures. *Applied Acoustics*, 1298-1304.
- Gross, M., 1990. *Oceanography: A View Of The Earth. 5 Th Edition*. London: Prentice Hall.
- Hafizh, A., Sasmito, B., & Awaludin, M., 2021. Pemetaan Sedimen Perairan Dangkal Menggunakan Data Multibeam Echosounder (Studi Kasus: Pantai Kartini, Jepara). *Jurnal Geodesi Undip*, Volume [10] Nomor [1] Tahun 2021 [Isn: 2337-845x].
- Haryanto, D., Febriawan, H., Rahadian, & Haryadi, Y., 2021. Survei Dimensional Untuk Pemasangan Multibeam Echosounder Laut Dalam Di Kr Baruna Jaya Iii. *Fit Isi 2020 Vol 1*, 14-21.
- Hasan, R., Ierodionou, D., Laurenson, L., & Schimel, A., 2014. Integrating Multibeam Backscatter Angular Response, Mosaic And Bathymetry Data For Benthic Habitat Mapping. *Plos One*, 9(5):PE97339. [Doi: 10.1371/Journal.9\(5\):PE97339](https://doi.org/10.1371/Journal.9(5):PE97339).
- Hesse, R., & Schacht, U., 2011. Early Diagenesis Of Deep-Sea Sediments. *Developments In Sedimentology*, Volume 63, 2011, Pages 557-713.
- Hutabarat, S., & Evans, S., 2000. *Pengantar Oseanografi*. Jakarta: Ui -Press.
- Iadc., 2020. *Dredging For Development*. Tokyo Japan: International Association Of Dredging Companies (Iadc), .
- Iho., 2011. *Iho. Manual On Hydrography, C-13, Chapter Depth Determination. International Hydrographic Organization (Iho), 1st Edition*.
- Jayanto, H., Manik, H., & Adi, A., 2021. Analisis Akustik Backscatter Untuk Pemprofilan Dasar Laut Guna Penentuan Lokasi Duduk Kapal Selam (Studi Kasus Di Perairan Laut Jawa Utara Segmen 8). *Chart Datum*, 143-161.
- Kusworo, H., Danar, G. P., & Hascaryo, A. P., 2019. Studi Penentuan Catzoc Berdasarkan Kontrol Kualitas Data Batimetri Dari Multibeam Echosounder (Mbes) (Studi Kasus Pulau Bawean). *Chart Datum*, 17-30.
- Lurton, X., & Lamarche, G., 2015. Backscatter Measurements By Seafloor-Mapping Sonars. Guidelines And Recommendations. *Lurton, X.; Lamarche, G. (Eds.) Backscatter Measureavailable Online: Http://Geohab.Org/Wp-Content/Uploads/2014/05/Bswg-Report-May2015.Pdf (Accessed On 15 January 2019)*.
- Mann, R., 1998. *Field Calibration Procedures For Multibeam Sonar Systems*. Virginia, Usa.: U.S. Army Corps Of Engineers Topographic Engineering Center.
- NOAA., 2020. *Education Ocean*. Diambil Kembali Dari <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-floor-features>
- Nugroho, Manik, H. M., Gultom, D. A., & Firdaus, M., 2022. Implementasi Multibeam Echosounder

- Untuk Pengukuran Dan Analisis Data Kedalaman Perairan Teluk Jakarta Berdasarkan International Hydrographic Organization Standards. *Positron*, Hal. 60 - 71.
- Oktiarini, D., Atmodjo, W., & Widada, S., 2015. Transport Sedimen Di Lokasi Perencanaan Pembangunan Pelabuhan Marunda, Jakarta Utara. *Jurnal Oseanografi*, Volume 4, Nomor 1, Tahun 2015, Halaman 325 - 332.
- Ongkosongo., 1989. *Project 1: Tides And Tidal Phenomena, Pasang_Surut*. Pusat Penelitian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Pettijohn, F., 1975. *Sediment Rocks*. New York-Evanston-Sanfransisco London: Harper & Row Publisher.
- Rajput, S., & Thakur, K. N., 2016. Sedimentation Pattern. *Geological Controls For Gas Hydrate Formations And Unconventionals*, Pages 69-106.
- Sitanggang, W., Trismadi, & Harsono, G., 2021. Deteksi Nilai Hambur Balik Dasar Perairan Teluk Palu Menggunakan Multibeam Echosounder Dan Pemanfaatannyadalam Pertahanan Bawah Permukaan. *Teknologi Penginderaan*, 33-41.
- Sumirang, E., Pranowo, W., & Surya, A.,(2020). Pemutakhiran Web Database Sistem Fusi Oseanografi Dengan Menambahkan Variabel Sound Speed (Kecepatan Suara). *Jurnal Hidropilar*, Vol. 6 No. 2 (2020) <https://doi.org/10.37875/Hidropilar.V6i2.179>.
- Taohid, R. A., Satriadi, A., & Saputro, S., 2017. Studi Pola Arus Dan Sebaran Material Padatan Tersuspensi Di Pantai Marina Ancol, Jakarta. *Jurnal Oseanografi*, Volume 6, Nomor 1 Halaman 116 – 123.
- Triatmodjo, B., 2012. Perencanaan Bangunan Pantai. *Vol. 2. Beta Offset*, 327 Hlm.
- Wentworth, C., 1922. A Scale Of Grade And Class Terms For Clastic Sediments. *The Journal Of Geology* 30 (5), 377-392.
- Wienberg, C., 2005. Acoustic Seabed Classification In A Coastal Environment (Outer Weser Estuary, German Bight)—A New Approach To Monitor Dredging And Dredge Spoil Disposal. *Cont Shelf Research*, 25(9):1143–1156.
- Wyrтки, K., 1961. Scientific Results Of Marine Investigation Of The South China Sea And The Gulf Of Thailand 1959-1961. *Physical Oceanography Of The Southeast Asian Waters.*, Naga Report Volume 2.
- Yananto, A., & Sibarani, R. M., 2016. Analisis Kejadian El Nino Dan Pengaruhnya Terhadap Intensitas Curah Hujan Di Wilayah Jabodetabek (Studi Kasus : Periode Puncak Musim Hujan Tahun 2015/ 2016). *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol.17 No.2, 2016: 65 - 73.
- Yani, A., Riki, R., Muhammad, I., & Riko, A., 2020. *Pengantar Oseanografi*. Malang Jatim: Intimedia.

RESPON SINGKAT KONSENTRASI KLOOROFIL-A TERHADAP PERUBAHAN ARUS EDDY PERMUKAAN DI WILAYAH PERAIRAN TELUK TOLO DAN SEKITARNYA

SHORT TERM RESPONSE OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION TO CHANGES IN THE SURFACE EDDY CURRENT AROUND TOLO BAY

Gandhi Napitupulu^{1,2*}, Annisa Aulia Lukman^{1,2}, Rahaden Bagas Hatmaja³, Aditya Rakhmat Kartadikaria^{1,2,4}, Ivonne Milichrisiti Radjawane², Ananda Vista Millina⁴, M Apdillah Akbar⁵, Moses Napitupulu⁶

¹ Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Cirebon, Jawa Barat, Indonesia

² Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

³ Pusat Penelitian Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bandung, Indonesia

⁴ Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

⁵ Program Studi Ilmu Kebumian, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

⁶ Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia

*Email: gandhinapitupulu88@gmail.com

Diterima : 17-02-2024 , Disetujui : 22-05-2024

ABSTRAK

Upwelling, sebuah proses oseanografi yang sangat penting, memperkaya air permukaan dengan massa air yang kaya nutrisi dari lapisan yang lebih dalam. *Upwelling* dapat terjadi sebagai respon dari dinamika arus eddy, dan ini kami temukan salah satunya di perairan Teluk Tolo dan sekitarnya. Penelitian ini menganalisis pengaruh arus eddy terhadap *upwelling* di wilayah tersebut dengan menggunakan data citra satelit dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS), *Copernicus Climate Change Service* (C3S) dan model iklim dari ECMWF Reanalysis v5 (ERA 5). Data suhu permukaan laut (SST), klorofil-a permukaan laut (SSC), tinggi permukaan laut (SSH), dan angin permukaan laut (SSW) digunakan untuk memahami bagaimana arus eddy memengaruhi *upwelling* di wilayah kajian selama periode 15 tahun pengamatan (tahun 2006 hingga 2020). Hasil

penelitian menunjukkan jumlah arus eddy yang terbentuk adalah 341 buah (195 buah untuk eddy siklonik (CE) dan 146 buah untuk eddy antisiklonik (AE)). Jumlah maksimum CE (AE) ditemukan pada bulan Januari dan Juni (bulan Juli dan Oktober) serta minimum pada bulan September (bulan Mei). CE menyebabkan anomali negatif SST serta anomali positif SSC dengan perubahan signifikan setelah dua hari CE terbentuk. Karakteristik anomali SST dan SSC pada CE didukung melalui nilai EPV (*Ekman pumping velocity*) positif (maksimum $3,5 \times 10^{-6}$ m/s) yang mengindikasikan adanya *upwelling*. Sedangkan AE menyebabkan anomali positif SST serta anomali negatif SSC, dan mulai berubah tiga hari setelah AE terbentuk dengan nilai EPV negatif (minimum $-1,1 \times 10^{-6}$ m/s) yang menandakan adanya *downwelling*. Pengaruh eddy pada perairan Teluk Tolo dan sekitarnya terhadap *upwelling* lebih dominan dibandingkan dengan pengaruh angin pada bulan Juni, Juli, dan Agustus.

Kata kunci: Arus eddy, *Ekman Pumping Velocity*, *Sea Surface Chlorophyll*, *Sea Surface Height*, *Sea Surface Temperature*

ABSTRACT

Upwelling, a critical oceanographic process, enriches surface waters with nutrients by bringing cold, nutrient-rich water masses from deeper layers. Upwelling can occur in response to eddy current dynamics, such as in the waters of Tolo Bay and its vicinity. This study analyzes the influence of eddy currents on upwelling in this region using satellite image data from Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) and Copernicus Climate Change Service (C3S) and oceanographic models from ECMWF Reanalysis v5 (ERA 5). Sea surface temperature (SST), sea surface chlorophyll-a (SSC), sea surface height (SSH) and sea surface wind (SSW) data were used to capture how eddy currents affect upwelling in the study area for 15 years of observation (2006 to 2020). The results showed that the number of eddy currents formed was 341 events (195 events for cyclonic eddy (CE) and 146 events for anticyclonic eddy (AE)). The maximum number of CE (AE) was found in January and June (July and October) and the minimum in September (May). CE causes the negative SST anomalies and positive SSC anomalies with significant changes after two days of CE formation. The characteristics of SST and SSC anomalies in CE are supported by positive EPV (Ekman pumping velocity) values (maximum 3.5×10^{-6} m/s) indicating upwelling. While the AE causes positive SST anomalies and negative SSC anomalies, and begins to change three days after the AE is formed with a negative EPV value (minimum -1.1×10^{-6} m/s) indicating downwelling. Eddy influence in the Tolo Bay and its surrounding waters on upwelling is more dominant than the influence of wind in June, July, and August.

Keyword: *Eddy Current, Ekman Pumping Velocity, Sea Surface Chlorophyll, Sea Surface Height, Sea Surface Temperature*

PENDAHULUAN

Eddy adalah arus melingkar yang terpisah dari arus utama, arus ini dapat terbentuk di lautan dengan skala spasial mulai dari puluhan hingga ratusan kilometer dan skala temporal mulai dari berminggu-minggu hingga berbulan-bulan (Robinson, 1983; Zatsepin et al., 2011; Qiu et al., 2014). Eddy dapat terbentuk karena adanya dua kekuatan utama, yaitu gradien tekanan horizontal dan gaya Coriolis. Selain kedua gaya ini, eddy juga dapat dipengaruhi oleh interaksi dengan topografi (Robinson, 2012), angin permukaan (Mann & Lazier, 2006; Kartadikaria et al., 2012) dan sistem arus (Bakun et al., 2006; Zhan et al., 2016). Pusaran air eddy dapat diamati

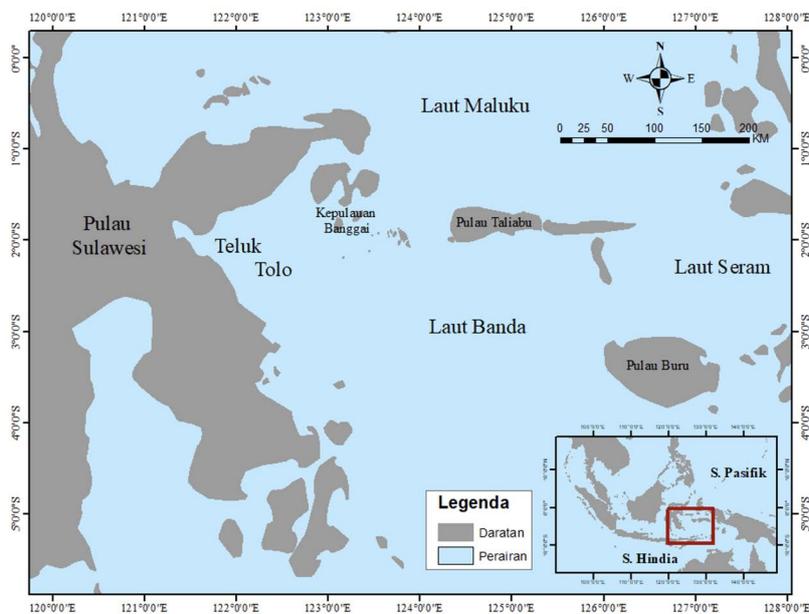
berdasarkan tingginya intensitas energi kinetik eddy (EKE) (Li et al., 2021) dan anomali muka air laut (Kartadikaria et al., 2024). EKE pada sistem sirkulasi didominasi oleh gerakan geostrofik yang terbentuk karena adanya ketidakseimbangan dari gaya gradien tekanan dan gaya Coriolis (Ferrari & Wunsch, 2010). Di lautan, EKE dapat terbentuk karena gaya angin atau ketidakstabilan baroklinik (Chen et al., 2012). Eddy memiliki pengaruh dalam pengangkutan dan pencampuran massa air yang memiliki peran penting karena mengangkut unsur-unsur kimia, zat terlarut, zat-zat hara, organisme kecil, dan panas.

Pada perairan Indonesia, *upwelling* pada musim tenggara (Juni, Juli, Agustus) dapat ditemukan pada

perairan barat Pulau Sumatra, perairan selatan Pulau Jawa hingga kepulauan Nusa Tenggara, Selat Makassar bagian selatan, Laut Banda, Laut Maluku, Laut Halmahera, serta Laut Arafura. Sedangkan *upwelling* pada musim barat laut (Desember, Januari, Februari) ditemukan pada perairan Selat Malaka bagian utara, perairan utara kepulauan Nusa Tenggara, serta perairan utara Pulau Papua, perairan Busur Banda, Laut Maluku, Laut Seram, Selat Ujung Pandang, Teluk Tomini, Teluk Tolo, Teluk Bone (Mustikasari et al., 2015; Wirasatriya et al., 2021). Arus eddy di Indonesia dapat ditemukan pada perairan barat Pulau Sumatra hingga perairan selatan Pulau Jawa, perairan utara Pulau Papua (Kartadikaria et al., 2024; Ferdyan et al., 2022; Pranowo et al., 2016), Laut Banda (Darmawan et al., 2020), Laut Maluku, Laut Seram, Teluk Tomini, Laut Arafura, Laut Timor, Laut Sawu, Selat Karimata, Laut Andaman (Ferdyan et al., 2022), Selat Makassar dan Laut Flores (Ferdyan et al., 2022; Kartadikaria et al., 2012; Nuzula et al., 2016), Selat Lombok dan perairan barat Nusa Tenggara (Kartadikaria et al., 2012), perairan Mindanao dan Halmahera (Ferdyan et al., 2022; Ramadhan et al., 2020; Simanungkalit et al.,

2018), dan Selat Malaka (Ferdyan et al., 2022). Arus eddy siklonik juga ditemukan pada wilayah laut Natuna. Arus eddy ini intens terjadi pada bulan November hingga Februari dan dikenal dengan Natuna *off-shelf current* atau NOC (Li et al., 2003; Hariyadi et al., 2021).

Apabila dilakukan komparasi lokasi kejadian *upwelling* dan arus eddy di perairan Indonesia berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dipaparkan di atas, maka diduga terdapat asosiasi antara *upwelling* dan arus eddy di perairan Laut Banda, Laut Sulawesi, Laut Flores, perairan Kepulauan Nusa Tenggara, Laut Maluku, dan Laut Halmahera. Perairan-perairan di atas termasuk dalam wilayah Indonesia Timur, yang pada penelitian ini, wilayah Indonesia Timur yang dimaksud dibatasi pada perairan Teluk Tolo dan sekitarnya. Fokus utama penelitian ini adalah pada fenomena arus eddy dan interaksinya dengan *upwelling* di sepanjang periode 2006-2020. Arus eddy, sebagai pola pergerakan air laut yang bersifat rotasional, memiliki peran kunci dalam membentuk kondisi lingkungan laut, dan dampaknya terhadap *upwelling* (Pranowo et al., 2005), dapat memiliki



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tabel 1. Data yang digunakan dalam penelitian

No.	Data	Sumber Data	Resolusi Data
1	SST	DOI: https://doi.org/10.48670/moi-00021	Harian; 9 x 9 km
2	SSC	DOI: https://doi.org/10.48670/moi-00021	Harian; 9 x 9 km
3	SSH	DOI: https://doi.org/10.48670/moi-00148	Harian; 0,25° x 0,25°
4	SLA	DOI: https://doi.org/10.24381/cds.4c328c78	Harian; 0,25° x 0,25°
5	SSW	DOI: https://doi.org/10.24381/cds.4c328c78	Harian; 0,25° x 0,25°
6	u_{geos} dan v_{geos}	DOI: https://doi.org/10.48670/moi-00021	Harian; 0,25° x 0,25°

implikasi signifikan terhadap produktivitas biologis dan distribusi nutrisi di perairan Teluk Tolo dan sekitarnya.

Arus eddy pada perairan sekitar Teluk Tolo menjadi fokus penelitian utama karena perannya dalam menciptakan variasi spasial dan temporal dalam suhu dan salinitas (Wardani et al., 2013; 2014), struktur perairan, dan distribusi nutrisi. *Upwelling*, sebagai respons langsung terhadap dinamika arus eddy dan topografi dasar laut, menjadi titik sentral dalam pemahaman perubahan lingkungan laut. Analisis spasial dan temporal arus eddy menjadi landasan untuk memahami bagaimana fenomena ini berinteraksi dengan *upwelling*, membuka jendela wawasan terhadap mekanisme dan pola perubahan lingkungan laut yang berkaitan.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menyelidiki evolusi arus eddy dan dampaknya terhadap pola *upwelling* perairan sekitar Teluk Tolo dari tahun 2006 hingga 2020. Metode yang digunakan mencakup analisis data satelit dan hasil pemodelan numerik. Integrasi pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang komprehensif tentang dinamika perairan di wilayah kajian dalam hal mendukung produktivitas biologis dan perikanan yang tinggi di Teluk Tolo serta perairan lain di sekitarnya.

DATA DAN METODE

Data untuk penelitian ini diperoleh dari data citra satelit dan *Reanalysis* ECMWF generasi lima selama periode 2006-2020. Analisis statistik, termasuk analisis regresi dan analisis spasial, digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara arus eddy dan *upwelling*.

Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data suhu permukaan laut/ *sea surface temperature* (SST), klorofil-a permukaan laut/ *sea surface chlorophyll-a* (SSC), anomali tinggi muka laut/ *sea level anomaly* (SLA), kecepatan arus geostropik (U_{geos} dan V_{geos}) dari citra satelit. Data tinggi muka air/ *sea surface height* (SSH) dan kecepatan angin permukaan laut pada ketinggian 10 m/ *sea surface wind* (SSW) dari CDS *catalogue* ERA 5. Keterangan dan uraian lengkap dari data yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Semua data yang digunakan dari tanggal 1 Januari 2006 hingga 31 Desember 2020.

Deteksi Arus Eddy

Pada penelitian ini menggunakan metode hibrida dengan menggabungkan antara parameter Okubo-Weiss dan kriteria geometrik, yang dalam hal ini merupakan SLA. Keberadaan eddy dalam metode ini didefinisikan sebagai wilayah koheren yang terdeteksi dalam kontur SLA tertutup dan parameter Okubo-Weiss memiliki nilai yang negatif. Kontur SLA tertutup diperoleh dengan cara: 1. Dilakukan perhitungan jarak antar grid bujur (dx) dan lintang (dy); 2. Dibuat kontur berdasarkan data SLA dari

interval terkecil hingga terbesar; 3. Dilakukan pengecekan setiap kontur yang terbentuk, untuk memastikan apakah terdapat kontur tertutup yang terbentuk; dan 4. Kontur tertutup dicirikan sebagai kontur yang terbentuk dari titik yang lebih dari dua titik, dengan komponen pembentuk terdapat dua titik dengan bujur dan lintang yang identik.

Perhitungan Okubo-Weiss dilakukan dengan menggunakan data U_{geos} dan V_{geos} untuk menghitung nilai regangan normal (S_n), regangan geser (S_s), dan vortisitas relatif (ξ). Hasil perhitungan S_n , S_s , dan ξ digunakan dalam rumus Okubo (1970) dan Weiss (1991) sebagai berikut:

$$W = S_n^2 + S_s^2 - \xi^2 \quad (1)$$

dengan $S_n = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$; $S_s = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$; dan $\xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$.

Sebuah vorteks didefinisikan sebagai sebuah wilayah yang mempunyai nilai vortisitas yang sama dan dengan nilai parameter Okubo-Weiss (W) yang lebih kecil dari nilai ambang batas:

$$W_0 = 0.2\sigma_w \quad (2)$$

Nilai σ_w merupakan standar deviasi spasial dari W yang diperoleh dari perhitungan nilai kecepatan geostropik. Eddy dicirikan dengan kontur tertutup dari nilai $W = -W_0$. Melalui parameter W pada Persamaan 2, topologi dari kecepatan permukaan laut dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: 1. $W < -W_0$ merupakan wilayah eliptik, yang didominasi oleh vortisitas; 2. $W > -W_0$ merupakan wilayah hiperbolik, yang didominasi oleh tegangan/deformasi; 3. $|W| \leq -W_0$ merupakan wilayah bidang dasar.

Nilai radius (R) eddy diestimasi dari kontur tertutup terbesar dari luas permukaan (A), sehingga:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (3)$$

Transformasi Green digunakan untuk memperoleh amplitudo eddy dari kontur SLA tertutup. Fungsi transformasi Green ($g(t)$) diberikan oleh:

$$G(t) = \frac{1}{2\pi} \oint_C \log |z(t) - z(\tau)| \frac{\partial z(\tau)}{\partial \tau} d\tau \quad (4)$$

dengan $g(t)$ adalah fungsi transformasi Green, dan C adalah lintasan kontur tertutup. Integral ini dihitung sepanjang lintasan kontur. Untuk menghitung $g(t)$, kita harus menemukan turunan dari $z(\tau)$, yaitu:

$$\frac{\partial z(\tau)}{\partial \tau} = \frac{dx}{d\tau} + i \frac{dy}{d\tau} \quad (5)$$

Amplitudo eddy dapat dihitung menggunakan transformasi Green, yaitu:

$$A = -\frac{1}{\pi} \frac{d}{dt} [Re(g(t))] \quad (6)$$

dengan $Re(g(t))$ adalah bagian riil dari fungsi transformasi Green $g(t)$.

Dalam melacak lintasan (trajektori) eddy digunakan asumsi bahwa pusat arus eddy hari berikutnya merupakan eddy yang sama jika berada pada radius kontur tertutup pada hari sebelumnya. Persamaan yang dapat digunakan untuk melacak trajektori eddy (Vortmeyer-Kley et al., 2016), yaitu:

$$X_{e1,e2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X}{X_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \xi}{\xi_0}\right)^2} \quad (7)$$

dengan ΔX merupakan jarak spasial antara inti eddy (X_{e1} dan X_{e2}), ΔR merupakan variasi diameter, $\Delta \xi$ merupakan variasi vortisitas, X_0 merupakan skala panjang karakteristik, R_0 merupakan tipe radius eddy, dan ξ_0 merupakan karakteristik vortisitas.

Berdasarkan pengamatan satelit altimetri, eddy skala meso menangkap hampir 80% total energi kinetik, sehingga energi kinetik eddy (EKE) umumnya digunakan untuk menganalisis eddy dan variabilitasnya (Liu & Tang, 2022), EKE diperoleh dari nilai kecepatan arus geostropik zonal (U_{geos}) dan meridional (V_{geos}) dengan melakukan perhitungan sebagai berikut:

$$E_{KE} = \frac{1}{2} (u_{geos} + v_{geos}) \quad (8)$$

Ekman Pumping

Wind stress dihitung dengan Persamaan 9 untuk *wind stress* arah timur-barat dan Persamaan 10 untuk *wind stress* arah utara-selatan (Small et al., 2008).

$$\tau_x = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (9)$$

$$\tau_y = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (10)$$

dengan τ_x , τ_y adalah masing-masing *wind stress* arah timur-barat dan utara-selatan (kg/ms^2), ρ_a adalah densitas udara ($1,3 \text{ kg/m}^3$), C_D adalah koefisien *drag*, $|W_x|$, $|W_y|$ adalah masing-masing kecepatan angin arah timur-barat dan utara-selatan (m/s).

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui transfer energi dari angin yang secara fisik mendorong air saat berhembus di atas permukaan laut (Small et al., 2008). Selanjutnya, *wind stress curl* dapat dihitung dengan Persamaan 11 menggunakan hasil yang sudah diperoleh dari perhitungan *wind stress* (Park et al., 2006). *Wind stress curl* dilakukan untuk menghitung transportasi massa yang digerakkan oleh angin (Stern, 1965).

$$W_p = \frac{1}{\rho f} \Delta \times \tau = \frac{1}{\rho f} \left(\frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \right) \quad (11)$$

dengan ρ adalah densitas air (kg/ms^2) dan f adalah parameter Coriolis. Parameter Coriolis dapat dihitung sebagai berikut:

$$f = 2\omega \sin \psi \quad (12)$$

dengan ω adalah kecepatan sudut rotasi bumi ($7,292 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$) dan ψ adalah lintang posisi pengamatan ($^\circ$).

Nilai *Ekman Pumping Velocity* (EPV) dihitung menggunakan Persamaan 13 dengan memanfaatkan hasil perhitungan *wind stress curl* (Park et al., 2020).

$$W_p = \frac{1}{\rho f} \nabla \times \tau = \frac{1}{\rho f} \left(\frac{\partial \tau_x}{\partial x} - \frac{\partial \tau_y}{\partial y} \right) \quad (13)$$

Transpor massa Ekman (M_E) didefinisikan sebagai kecepatan Ekman dari permukaan ke kedalaman di bawah lapisan Ekman (Zhao et al., 2021), dengan komponen transpor M_{Ex} , M_{Ey} sebagai berikut:

$$M_{Ex} = \int_{-d}^0 \rho U_E dz \quad (14)$$

$$M_{Ey} = \int_{-d}^0 \rho V_E dz \quad (15)$$

dengan M_{Ex} , M_{Ey} adalah masing-masing arah timur-barat dan utara-selatan; $|U_E|$, $|V_E|$ masing-masing arah timur-barat dan utara-selatan (m/s); dan ρ adalah densitas air laut (kg/m^3).

Nilai dari EPV dan transpor Ekman dapat digunakan untuk menggambarkan fenomena *upwelling*. Nilai EPV akan bertanda negatif apabila terjadi *downwelling*, yaitu adanya konvergensi transpor Ekman pada permukaan yang menggerakkan massa air bergerak menuju dasar laut (Vinayachandran et al., 2021). Sebaliknya, apabila EPV bertanda positif, maka terjadi *upwelling*, yaitu adanya divergensi transpor Ekman yang menggerakkan massa air bergerak naik ke permukaan laut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus eddy memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika *upwelling* di Teluk Tolo dan sekitarnya seperti Laut Banda bagian utara serta Laut Seram, pada musim Tenggara (Juni, Juli, Agustus). Pada umumnya, arus eddy yang kuat akan lebih berkorelasi dengan peningkatan *upwelling*, yang mengakibatkan peningkatan produktivitas primer di wilayah ini. Selain itu, arus eddy juga memengaruhi pola spasial dan temporal dari

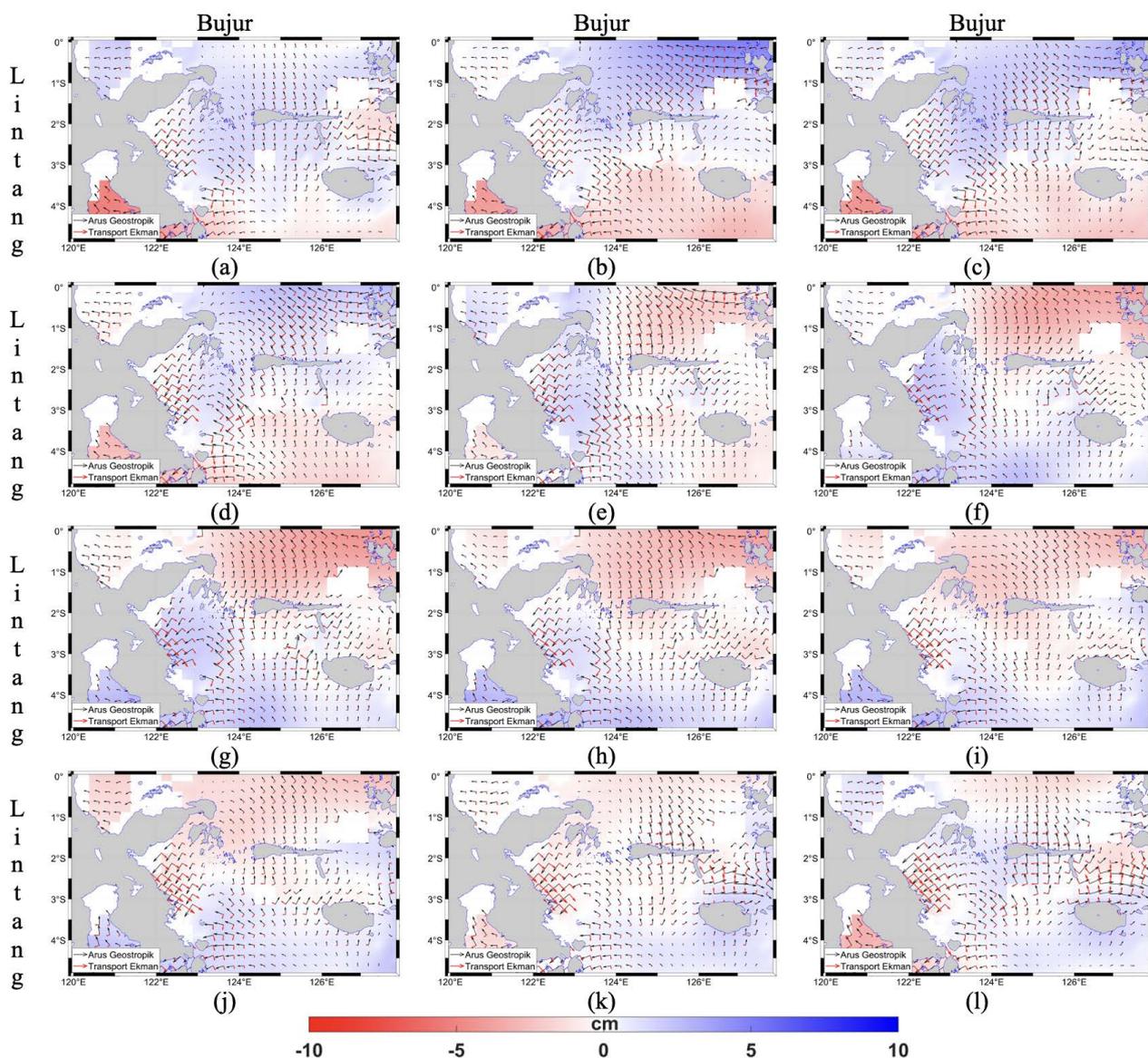
upwelling pada wilayah kajian, yang dapat berdampak pada ekosistem laut.

Klimatologi SLA dan Kecepatan Arus

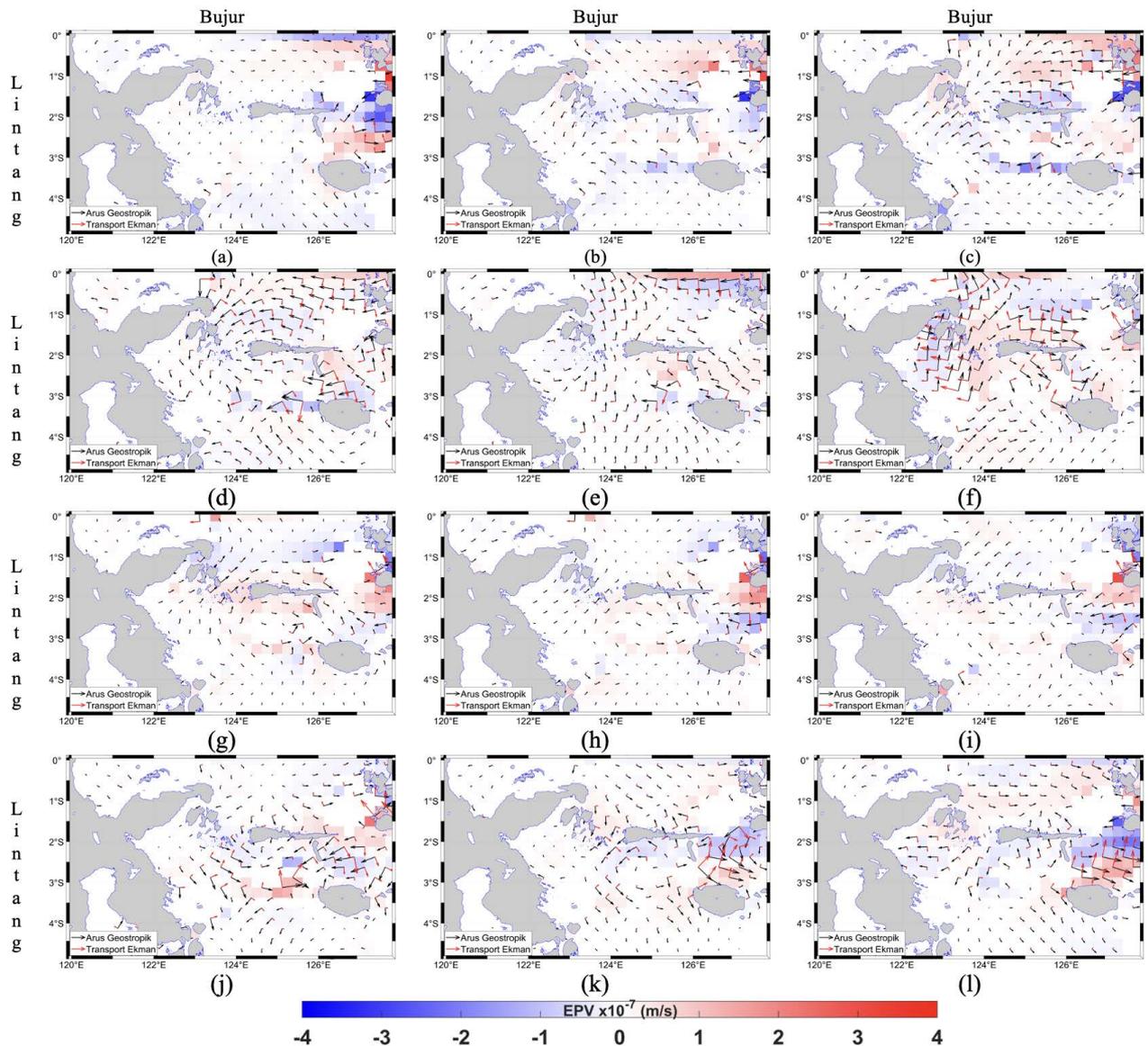
Data distribusi nilai klimatologi SLA bulanan yang tertera pada Gambar 2 menunjukkan anomali positif maksimum ditemukan pada bulan Februari (5,92 cm) sedangkan nilai anomali negatif terendah ditemukan pada bulan Agustus (-6,97 cm). Nilai positif dan negatif SLA dapat digunakan sebagai indikasi potensi terjadinya kejadian *upwelling* dan *downwelling* (Umaroh et al., 2017). Berdasarkan nilai klimatologi SLA, potensial *upwelling* pada wilayah kajian terjadi pada bulan Juni hingga bulan November dengan potensi paling tinggi terjadi pada bulan Agustus hingga bulan Oktober atau

pada muson tenggara hingga muson peralihan II. Selain berdasarkan nilai SLA, potensi kejadian *upwelling* pada muson tenggara – muson peralihan ini juga dibuktikan dengan transpor Ekman serta kecepatan pompa Ekman atau *ekman pumping velocity* (EPV) akibat arus geostropik yang tinggi pada bulan April hingga bulan Juli. Berdasarkan Gambar 3, nilai EPV maksimum ditemukan pada bulan Mei ($1,10 \times 10^{-7}$ m/s) serta minimum pada bulan Januari ($-1,16 \times 10^{-8}$ m/s).

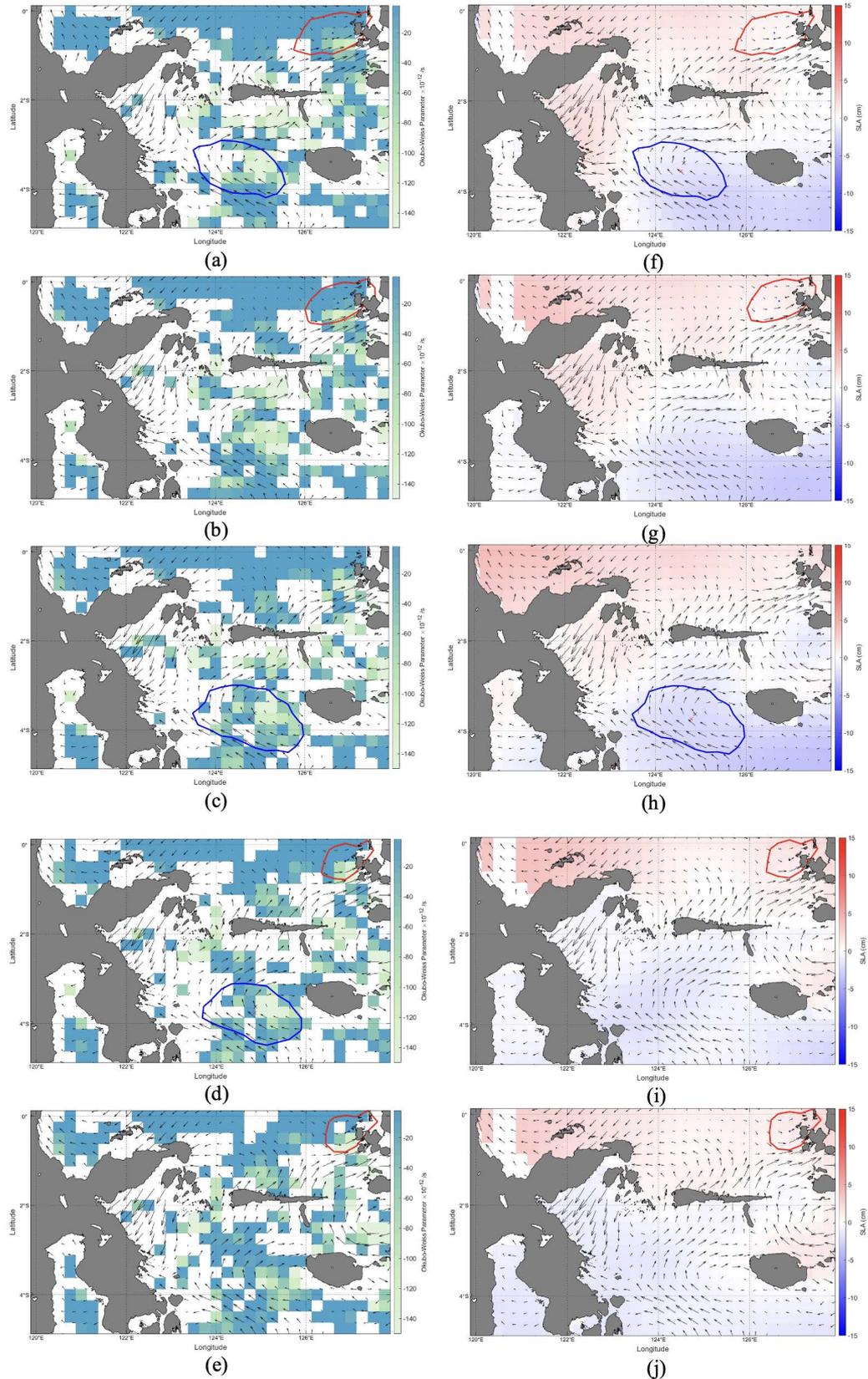
Kecepatan arus pada wilayah kajian mencapai nilai maksimum pada bulan Maret (0,114 m/s) dan mencapai nilai minimum pada bulan November (0,069 m/s) (Gambar 3). Pada Gambar 4 untuk bulan Juni, nilai klimatologi kecepatan dan arah arus menunjukkan keberadaan dua eddy, yaitu eddy siklonik (CE) di bagian pusat Teluk Tolo (ditandai dengan gradien warna biru) dan eddy antisislonik (AE) di Laut Seram yang



Gambar 2. SLA dan kecepatan arus geostropik pada bulan (a) Januari, (b) Februari, (c) Maret, (d) April, (e) Mei, (f) Juni, (g) Juli, (h) Agustus, (i) September, (j) Oktober, (k) November, dan (l) Desember. Tanda panah hitam menunjukkan arah angin permukaan dan panah merah menunjukkan arah transpor Ekman.



Gambar 3. Kecepatan arus geostropik dan Ekman pumping velocity (EPV) pada bulan (a) Januari, (b) Februari, (c) Maret, (d) April, (e) Mei, (f) Juni, (g) Juli, (h) Agustus, (i) September, (j) Oktober, (k) November, dan (l) Desember. Tanda panah hitam menunjukkan arah angin permukaan dan panah merah menunjukkan arah transpor Ekman. Gradien warna biru mengindikasikan kejadian upwelling sedangkan gradien warna merah menunjukkan kejadian downwelling.



Gambar 4. Eddy siklonik ditandai dengan kontur biru dan antisiklonik ditandai dengan kontur merah. Eddy ditampilkan dengan vektor arus serta parameter Okubo-Weiss untuk bulan (a) Juni; (b) Juli, (c) Agustus; (d) September; dan (e) Oktober . Eddy ditampilkan dengan vektor arus serta parameter SLA untuk bulan (f) Juni; (g) Juli, (h) Agustus; (i) September; dan (j) Oktober.

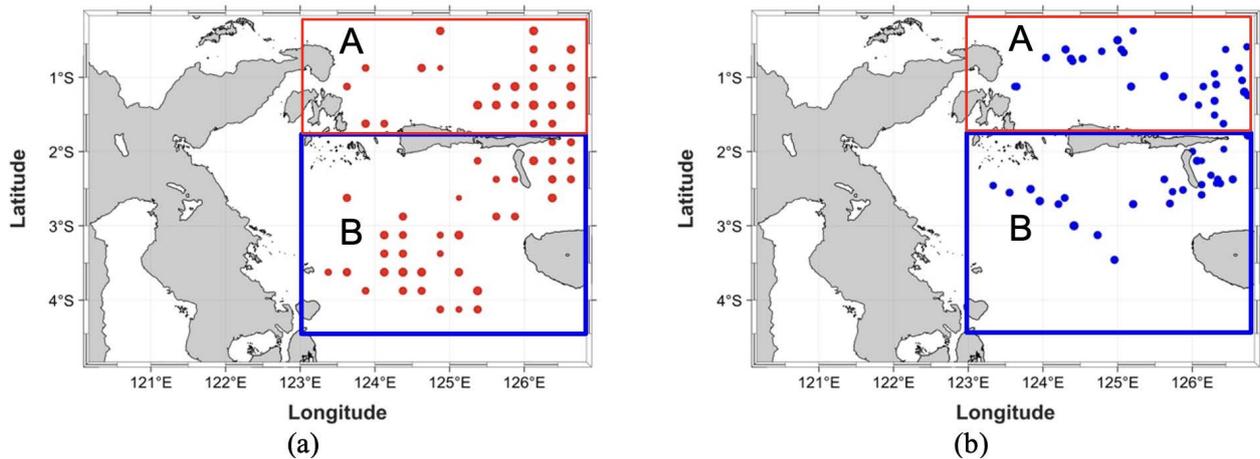
sebagai penyebab munculnya *upwelling*, sementara eddy AE menyebabkan peristiwa *downwelling*. Dua eddy yang ditemukan pada wilayah kajian ini serupa dan diperkuat

oleh penelitian yang dilakukan Suharyo et al. (2020). Pada wilayah timur laut Seram, AE teridentifikasi persisten hingga bulan September dengan karakteristik jari-jari yang terus mengecil. Sedangkan CE pada pusat Teluk Tolo tidak lagi teridentifikasi setelah bulan Juni.

CE klimatologi yang ditemukan pada bulan Juni dibuktikan dengan grafik yang terdapat pada Gambar 7d.

Maluku. Pada pertemuan dua arus ini diduga menyebabkan terbentuknya AE.

Arlindo juga diduga menjadi penyebab lain mengecilnya diameter AE dari bulan Juni hingga bulan September. Menurut Shinoda et al. (2012), Arlindo memiliki kecepatan maksimum pada bulan Agustus hingga September. Kecepatan maksimum dari Arlindo pada bulan Agustus - September yang masuk ke Indonesia melalui Laut Maluku ini diduga meningkatkan kekuatan arus dengan arah yang searah pada Teluk Tolo sehingga meningkatkan intensitas arus eddy yang terbentuk.



Gambar 5. Sebaran pusat (a) AE dan (b) CE dengan skala meso (50 - 120 km). Kotak merah menunjukkan daerah A dan kotak biru menunjukkan daerah B.

Grafik ini menunjukkan bahwa jumlah CE banyak ditemukan pada bulan Desember, Januari, dan Juni. Karakteristik AE (Gambar 4) yang ditemukan pada bulan Juni dan persisten hingga bulan September dengan jari-jari yang semakin kecil ini sesuai dengan Gambar 7c.

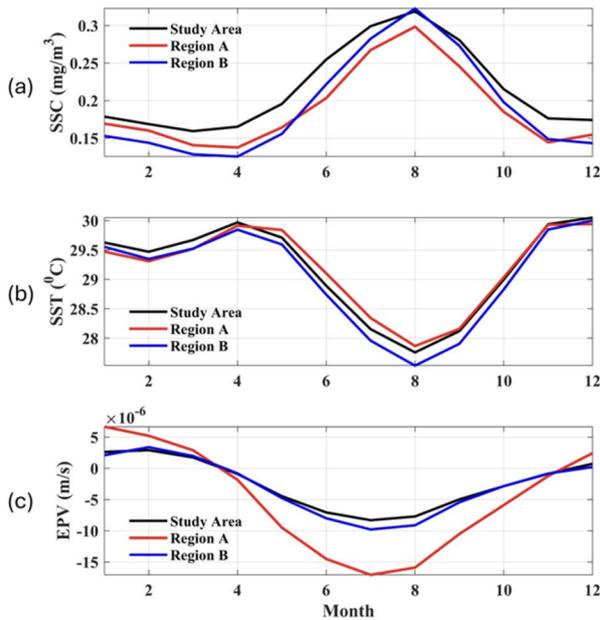
Gambar 5a dan 5b menunjukkan bahwa distribusi jumlah AE lebih besar dibandingkan dengan CE. Distribusi spasial menunjukkan bahwa AE tersebar merata pada seluruh wilayah kajian sedangkan pembentukan CE terlihat lebih terkonsentrasi pada wilayah Laut Maluku.

Kondisi arah arus pada wilayah kajian terlihat cukup kompleks dan mendapat pengaruh dari sistem angin muson serta arus lintas Indonesia (Arlindo) yang bergerak dari Samudra Pasifik di wilayah utara menuju Samudra Hindia di wilayah selatan melalui perairan Indonesia. Pada muson tenggara arus bergerak dari perairan wilayah timur Indonesia, dalam kasus ini bergerak dari wilayah Laut Banda menuju ke Laut Maluku melalui Teluk Tolo. Pergerakan arus dari Laut Banda menuju Laut Maluku ini terbentur dengan adanya topografi daratan pulau Sulawesi (Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara) sehingga terbentuk CE di wilayah pusat Teluk Tolo. Sedangkan Arlindo yang mengalir menuju Samudera Hindia, masuk melalui celah Laut Maluku memengaruhi sistem arus akibat muson tenggara yang juga bergerak menuju Laut

Klimatologi SSC, SST, dan EPV

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 menunjukkan SSC, SST, dan EPV di wilayah utara (daerah A) dan selatan (daerah B) pulau Taliabu memiliki pola yang serupa, sehingga analisis pada subbab ini tidak dipisah. Nilai SSC di wilayah kajian berkisar antara 0,13-0,30 mg/m³, nilai SSC tinggi mengindikasikan adanya kejadian *upwelling*, sedangkan nilai SSC rendah mengindikasikan adanya kejadian *downwelling* pada daerah tersebut. Nilai SST berkisar antara 27,5-30,0 °C, nilai SST rendah mengindikasikan adanya kejadian *upwelling*, sebaliknya SST tinggi mengindikasikan adanya kejadian *downwelling*. Nilai SSC dan SST memiliki pola yang berbanding terbalik. Nilai EPV berkisar antara $-1,5 \times 10^{-5}$ hingga $5,0 \times 10^{-6}$ m/s, nilai positif menunjukkan terjadinya fenomena *upwelling* yang dibangkitkan oleh angin dan nilai negatif menunjukkan fenomena *downwelling*.

Hasil klimatologi EPV daerah A dan B pada Gambar 6 menunjukkan bahwa puncak *upwelling* yang disebabkan oleh angin terjadi pada bulan Januari dengan EPV mencapai $5,0 \times 10^{-6}$ m/s dan puncak *downwelling* terjadi pada bulan Juli dan Agustus dengan EPV mencapai kurang dari $-1,5 \times 10^{-5}$ m/s. Namun, rata-rata klimatologi

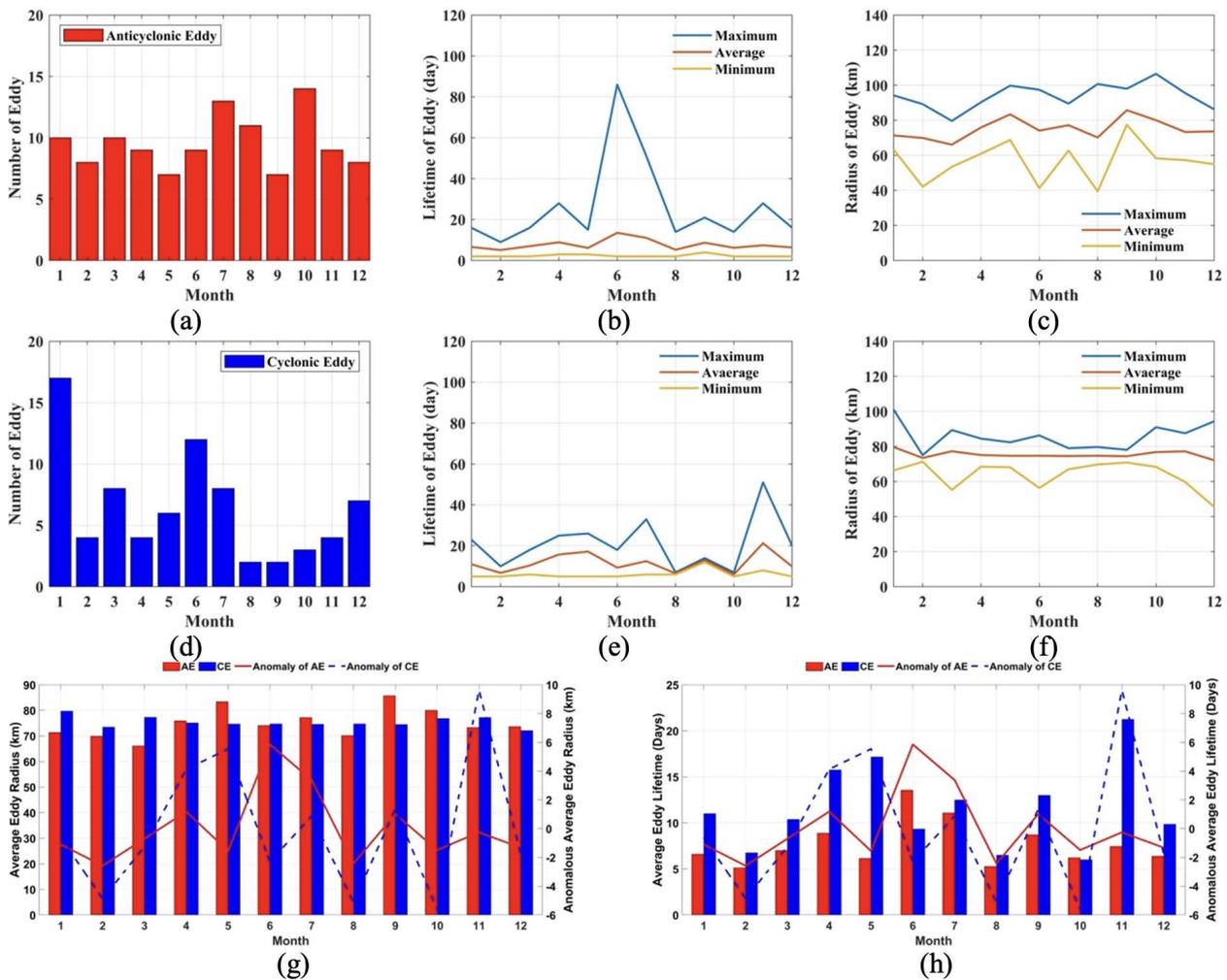


Gambar 6. (a) Nilai klimatologi dari klorofil-a permukaan laut (SSC); (b) suhu permukaan laut (SST); dan (c) EPV yang dibangkitkan oleh angin.

konsentrasi SSC yang tinggi tidak ditemukan pada wilayah kajian di bulan Januari, yang hanya berkisar antara 0,15-0,18 mg/m³ dengan SST yang tinggi sekitar 29,5 °C. Konsentrasi klorofil-a tinggi ditemukan pada bulan Agustus yang mencapai 0,3 mg/m³ dan didukung oleh SST yang rendah sekitar 28 °C. Menurut Shafeeque et al. (2021), terdapat 2 faktor utama peningkatan produktivitas perairan yaitu oleh pengaruh angin dan eddy. Nilai konsentrasi SSC yang tinggi, SST yang rendah, nilai EPV serta SLA yang negatif, pada bulan Agustus, menguatkan bahwa pengaruh eddy terhadap *upwelling* di daerah kajian lebih dominan dibandingkan oleh pengaruh angin (Singh et al., 2015).

Karakteristik Eddy Siklon dan Eddy Antisiklonik

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7a, total seluruh AE yang



Gambar 7. (a) Jumlah eddy siklonik (CE) setiap bulan. Nilai maksimum, minimum, dan rerata bulanan (b) umur CE (hari) dan (c) jari-jari CE (km). (d) Distribusi sebaran eddy antisiklonik (AE) setiap bulan. Nilai maksimum, minimum, dan rerata bulanan (e) umur AE (hari) dan (f) jari-jari AE (km). Rerata dan rerata anomali bulanan dari (g) jari-jari dan (h) umur CE dan AE.

terbentuk yaitu 146 buah sedangkan berdasarkan Gambar 7d total CE adalah 195 buah. CE terlihat memiliki nilai yang tinggi pada bulan Desember, Januari, dan Juni serta minimum pada bulan September. Jumlah dan variasi harian (lama waktu terbentuk) CE yang terbentuk setiap bulan memiliki perbedaan yang cukup signifikan (Gambar 7b). Berdasarkan nilai maksimumnya, CE paling lama terbentuk pada bulan November (50 hari) sedangkan paling singkat terbentuk pada bulan sebelumnya yaitu bulan Oktober (kurang dari 10 hari). Sedangkan berdasarkan nilai rata-ratanya, CE terbentuk maksimum pada bulan Mei dan paling minimum pada bulan Februari, Agustus, dan Oktober. Jari-jari CE memiliki nilai maksimum tertinggi 109 km (bulan Desember), jari-jari rata-rata maksimum adalah 82 km (bulan Februari), dan jari-jari minimum tertinggi adalah 70 km (bulan Februari). Terdapat perbedaan bulan antara variasi jumlah, lama waktu, serta radius CE yang terbentuk (Gambar 7c). Hal ini diduga disebabkan oleh proses dinamis perairan serta pesisir wilayah kajian yang merupakan teluk yang cukup luas, namun dikelilingi oleh daratan.

Jumlah AE terbentuk di Teluk Tolo dan sekitarnya lebih banyak dibandingkan dengan jumlah CE. Jumlah AE maksimum terjadi pada bulan Juli dan Oktober serta memiliki jumlah yang paling rendah pada bulan Mei. Berbeda dengan CE, variasi jumlah AE yang terbentuk setiap bulan relatif sama atau tidak berbeda secara signifikan. Durasi AE terlama (Gambar 7e) ditemukan pada bulan Juni berdasarkan nilai maksimum (85 hari) dan reratanya (10 hari), sedangkan durasi minimumnya ditemukan pada bulan Februari untuk nilai maksimum dan bulan Oktober untuk nilai reratanya. Radius AE teridentifikasi lebih kecil jika dibandingkan CE, dengan nilai maksimum radius AE adalah 109 km dan terjadi pada bulan Oktober. Sedangkan radius CE berdasarkan nilai minimum ditemukan pada bulan Agustus.

Berdasarkan Gambar 7e rata-rata CE yang terbentuk dari bulan Januari hingga bulan Mei serta dari bulan Juli hingga bulan Desember memiliki umur yang lebih lama jika dibandingkan dengan AE. Umur CE yang terbentuk lebih lama jika dibandingkan dengan umur AE yang lebih tinggi hanya ditemukan pada bulan Juni. Meskipun memiliki frekuensi jari-jari lebih rendah (70-75 km) umur CE akan lebih lama dibandingkan dengan AE yang memiliki umur yang lebih singkat namun memiliki jari-jari yang lebih tinggi (70-80 km) (Gambar 7f).

Gambar 7g serta 7h menunjukkan jari-jari rata-rata dan anomali jari-jari rata-rata dari CE dan AE. Berdasarkan gambar tersebut pada bulan Januari hingga Maret, bulan Agustus, serta bulan November, jari-jari CE lebih besar dibandingkan dengan AE. Sedangkan pada bulan April hingga Juli, bulan September hingga bulan Oktober, serta bulan Desember kondisi sebaliknya terjadi. Anomali rerata jari-jari CE paling tinggi ditemukan pada bulan November dan minimum pada bulan Oktober

sedangkan anomali rerata jari-jari AE maksimum ditemukan pada bulan Juni dan minimum pada bulan Agustus.

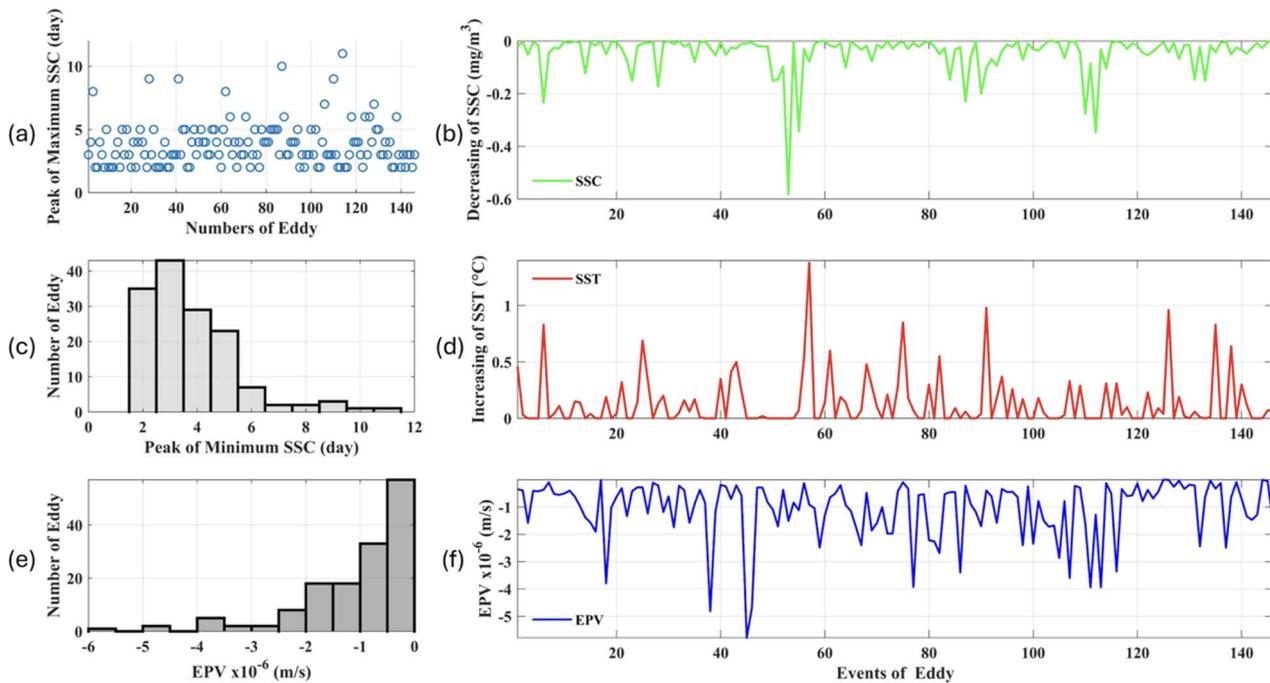
Variasi Anomali Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a Akibat Eddy Siklonik

Variasi SST dan SSC dipengaruhi oleh arah gerak eddy, CE menyebabkan perairan bergerak secara divergen dan menyebabkan terjadinya *upwelling* di perairan tersebut (Suharyo et al., 2020). Saat perairan bergerak secara divergen akan menyebabkan massa air pada titik pusat *upwelling* menjauh/menyebar sehingga terjadi kekosongan, massa air yang berada di kolom perairan dengan suhu yang lebih dingin akan naik ke permukaan untuk mengisi kekosongan, sehingga anomali SST bernilai negatif. Sebaliknya, AE menyebabkan perairan bergerak secara konvergen sehingga menyebabkan terjadinya *downwelling* dan anomali SST bernilai positif.

Nilai SSC maksimum adalah $0,35 \text{ mg/m}^3$ saat CE yang terbentuk sebanyak 130 buah. Nilai SSC yang tinggi juga ditemukan pada saat terbentuk CE sebanyak 85 buah dan 160 buah. Berdasarkan distribusi hubungan jumlah CE dengan puncak SSC maksimum pada Gambar 8a diketahui bahwa berapapun jumlah CE yang terbentuk maka pada hari kedua hingga hari kelima terjadi puncak SSC maksimum. Namun puncak SSC maksimum ini baru dimulai pada hari kedua CE terbentuk. Jumlah SSC yang maksimum ditemukan mulai 2 hari setelah CE terbentuk ini menunjukkan bahwa kemungkinan proses *upwelling* akibat CE baru berdampak pada permukaan perairan Teluk Tolo dan sekitarnya setelah 2 hari sejak CE terbentuk. Puncak SSC maksimum ini terlihat bertahan hingga hari ke 5 dan 6. Setelah hari ke 5 dan 6, terlihat SSC yang terbentuk tidak lagi tinggi. Sedangkan berdasarkan Gambar 8b juga menunjukkan bahwa jumlah CE maksimum terbentuk pada hari kedua puncak konsentrasi SSC. Setelah hari kedua, jumlah CE yang terbentuk akan semakin berkurang.

Berdasarkan grafik tertera pada Gambar 8c dan 8d diduga terdapat hubungan antara peningkatan konsentrasi SSC (grafik hijau) dengan penurunan nilai SST (grafik merah). Hampir setiap kejadian CE yang mengalami peningkatan konsentrasi SSC juga mengalami penurunan nilai SST. Kondisi ini dapat terlihat jelas atau signifikan pada saat jumlah CE 85 buah dan 180 buah.

Berdasarkan hasil pengolahan yang dilakukan, terdapat tiga kemungkinan hubungan antara CE, *upwelling*, EPV, dan jumlah konsentrasi klorofil-a yang terbentuk. Kemungkinan pertama yaitu apabila nilai EPV cukup besar, kedalaman perairan kecil, serta berasal dari dasar, maka kemungkinan konsentrasi klorofil-a di permukaan akan besar (Chen et al., 2022). Kemungkinan kedua yaitu apabila EPV kecil serta wilayah perairan yang dangkal maupun massa air berasal dari perairan dengan konsentrasi klorofil-a yang kecil, maka kemungkinan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada konsentrasi



Gambar 8. (a) Distribusi lag time (hari) antara kejadian CE yang terbentuk dengan peningkatan nilai SSC (mg/m^3); (b) Hubungan kejadian CE dengan peningkatan SSC (mg/m^3); (c) Histogram antara kejadian CE yang terbentuk dengan lag time (hari) puncak maksimum SSC (mg/m^3); (d) Hubungan kejadian AE dengan penurunan SST ($^{\circ}\text{C}$); (e) Distribusi nilai EPV positif (upwelling) dengan kejadian CE; dan (f) Hubungan kejadian CE dengan nilai EPV positif (m/s).

klorofil-a di permukaan (Wu et al., 2022). Kemungkinan terakhir yaitu EPV besar namun massa air yang terangkat ke permukaan berasal dari wilayah dengan konsentrasi klorofil-a yang kecil maka diduga tidak terjadi perubahan konsentrasi klorofil-a di permukaan (McGillicuddy, 2016).

Amplitudo CE diperoleh berdasarkan besarnya perubahan elevasi muka laut di pusat CE (Gambar 9a). Semakin besar amplitudo CE maka akan semakin besar perubahan muka laut akibat adanya CE yang terbentuk. Amplitudo maksimum ditemukan pada bulan Juni dibandingkan bulan-bulan lainnya. Amplitudo pada bulan Juni ini juga linier dengan peningkatan SSC dan EPV (Gambar 9b dan 9d) dan penurunan SST (Gambar 9c) yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada bulan Juni, Juli, dan Agustus diduga terjadi proses *upwelling* akibat adanya eddy siklonik (CE).

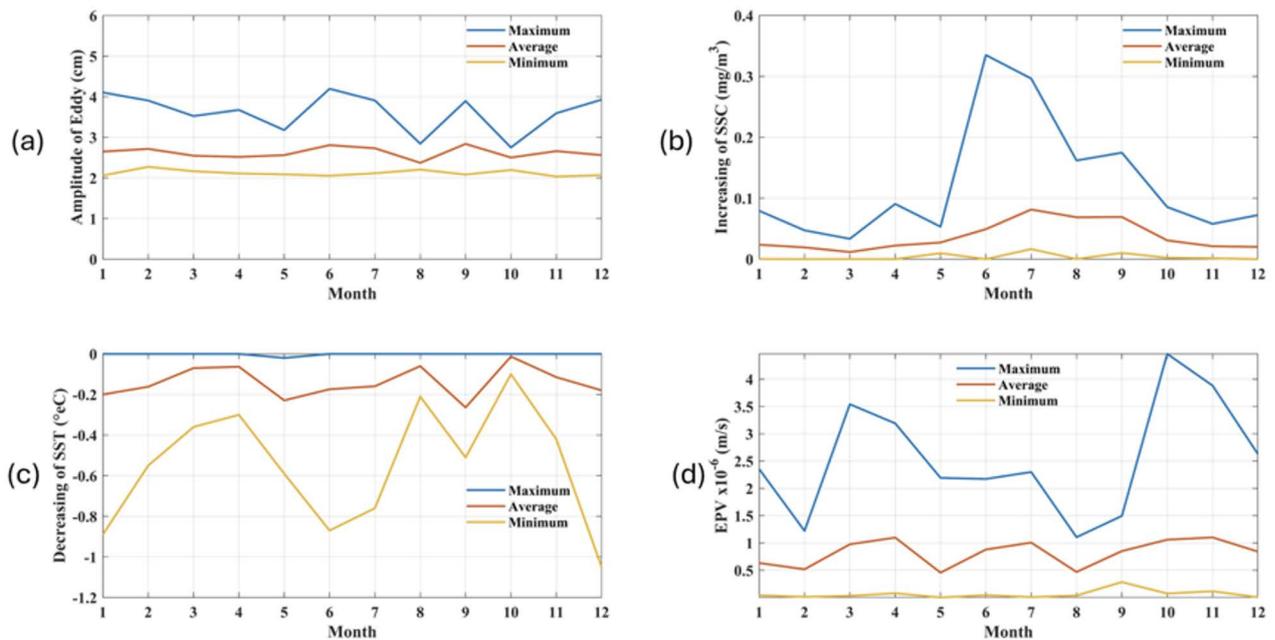
Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa ditemukan satu CE pada wilayah kajian. Kondisi awal CE yang terbentuk ini memiliki konsentrasi SSC pada rentang $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3 - 0,8 \text{ mg}/\text{m}^3$ dengan SST berkisar $29^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$. Pada pengamatan selama 2 hari (12 Mei hingga 14 Mei 2013) terlihat bahwa terjadi tren penurunan nilai SSH sebesar $-0,01 \text{ m}$ serta penurunan SST sebesar $-0,5^{\circ}\text{C}$ dan peningkatan SSC sebesar $0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$. Berdasarkan kondisi SSH, SST, serta SSC pada kedua wilayah ditemukannya CE menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 2 hari setelah CE terbentuk, diduga terjadi fenomena *upwelling*. Kondisi ini sesuai dengan Gambar 8a serta Gambar 8c

bahwa *upwelling* akibat CE baru terjadi setelah minimal 2 hari terbentuk.

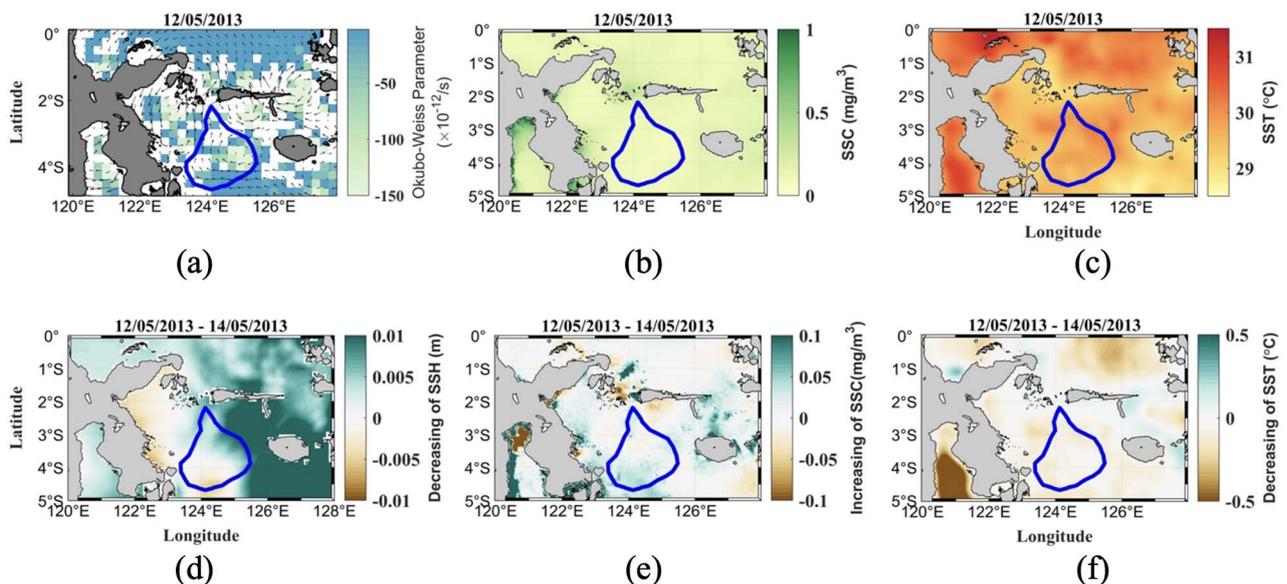
Variasi Anomali Suhu Permukaan Laut dan Konsentrasi Klorofil-a Akibat Eddy Antisiklonik

Pada 18 Agustus 2006 ditemukan 1 AE yang terletak pada wilayah Teluk Tolo. AE pada wilayah ini memiliki konsentrasi SSC pada kisaran $0,5 - 0,9 \text{ mg}/\text{m}^3$ yang menunjukkan konsentrasi SSC cukup tinggi untuk wilayah perairan laut lepas. Sedangkan nilai SST pada lokasi ditemukannya AE terlihat seragam (berkisar pada nilai 29°C). Setelah 2 hari pengamatan sejak AE pertama kali terbentuk, terlihat bahwa tidak terdapat perubahan nilai SSH, namun kondisi yang berbeda ditemukan untuk SSC dan SST. Kondisi SSC pada lokasi ditemukannya AE terlihat mengalami penurunan sebesar $-0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ sedangkan kondisi SST pada lokasi dan rentang waktu yang sama mengalami peningkatan konsentrasi sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan identifikasi terhadap nilai SSH, SST, serta SSC yang diperoleh ini, diketahui bahwa AE pada wilayah kajian akan berdampak pada kondisi *downwelling* setelah 2 hari terbentuk. Kondisi ini juga sesuai dengan Gambar 11b di mana puncak SSC minimum diperoleh mulai hari kedua setelah AE terbentuk.

Kondisi SSC maksimum mulai pada hari kedua setelah AE terbentuk. Puncak SSC maksimum terjadi hingga hari 5, setelah hari ke 5 jumlah AE tidak memengaruhi kondisi SSC. Sedangkan berdasarkan Gambar 11a jumlah AE paling tinggi ditemukan pada hari



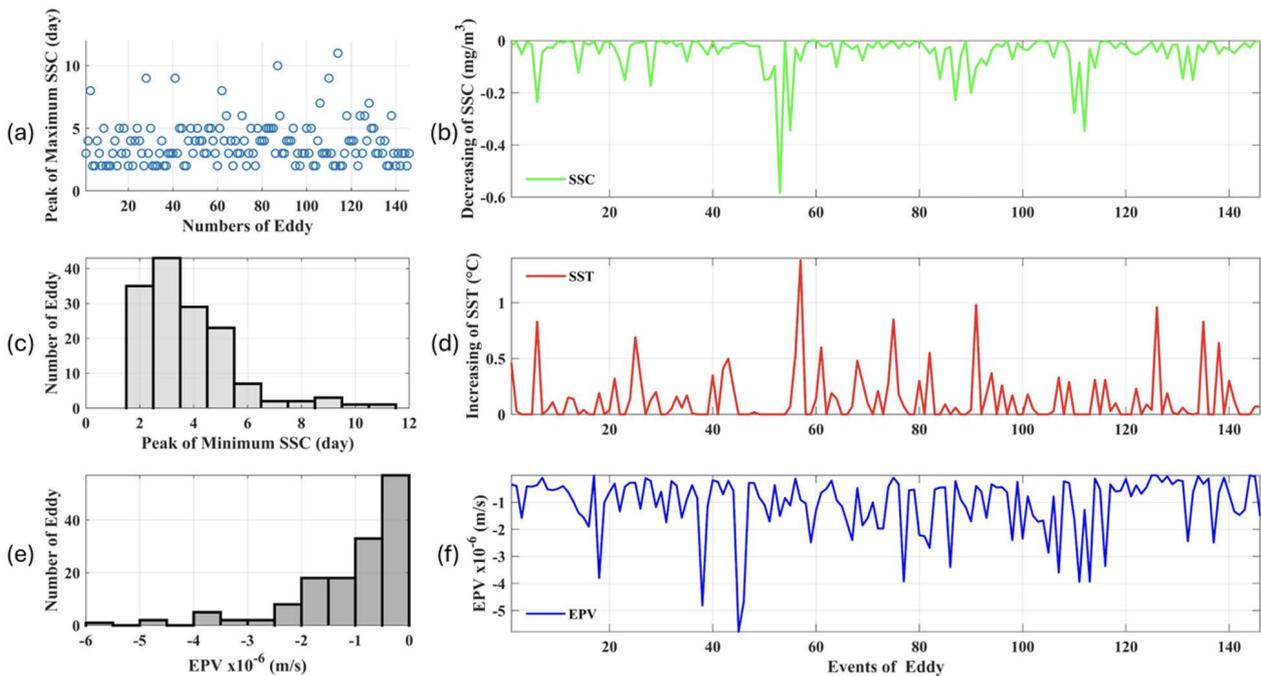
Gambar 9. Variasi bulanan dari nilai (a) amplitudo CE (cm); (b) peningkatan SSC (mg/m³); (c) penurunan SST (°C); dan (d) EPV (m/s).



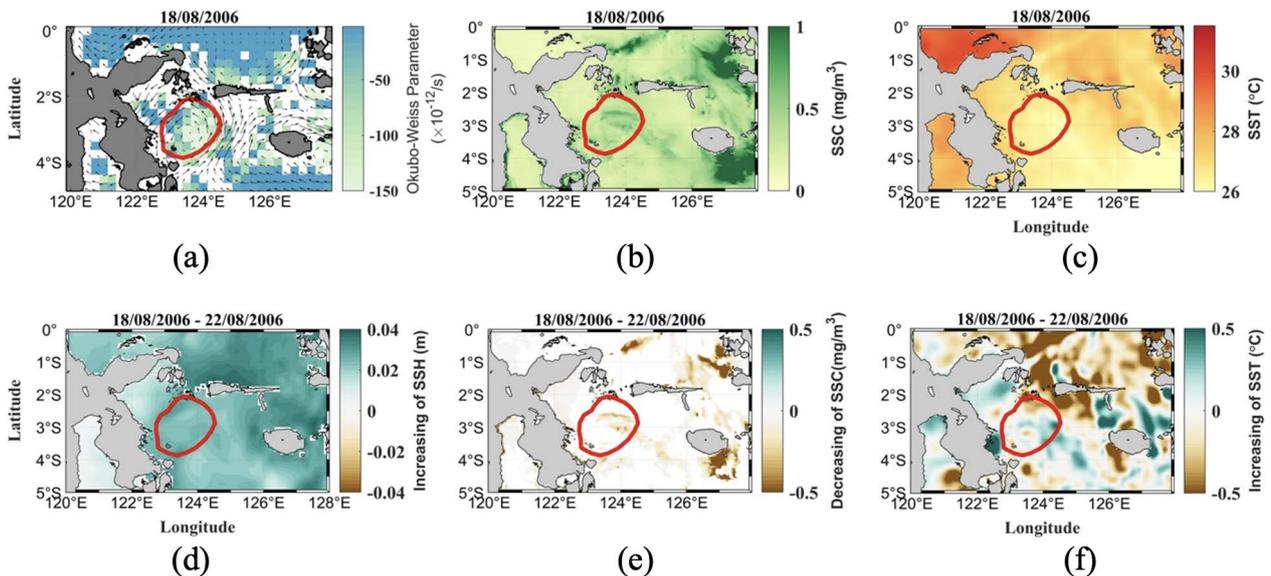
Gambar 10. Sebaran spasial dari nilai parameter (a) Okubo-Weiss ($\times 10^{-12}/s$); (b) SSC (mg/m³); (c) SST (°C) pada tanggal 12 Mei 2013; perubahan kondisi perairan (ditandai dengan gradien warna coklat-hijau) tanggal 12 – 14 Mei 2008 untuk (d) penurunan SSH (m); (e) peningkatan SSC (mg/m³); (f) penurunan SST (°C). Garis lingkaran biru merupakan siklonik eddy (CE).

ketiga puncak SSC maksimum, setelah hari ketiga dari jumlah SSC maksimum, maka jumlah AE yang terbentuk terus berkurang. Hubungan antara SST dan SSC pada saat AE terbentuk adalah berbanding terbalik. Peningkatan SST selalu bernilai positif untuk berapapun jumlah AE di saat yang bersamaan juga terjadi penurunan konsentrasi SSC. Hal ini diduga merupakan dampak dari AE di Teluk Tolo terhadap kondisi perairan, yaitu AE menyebabkan *downwelling* di Teluk Tolo.

Amplitudo AE merupakan nilai absolut terhadap perubahan tinggi muka laut, dihitung sebagai perbedaan antara magnitudo tinggi muka laut ekstrim dan tinggi muka laut rata-rata (Gaube et al., 2019). Berdasarkan plot grafik terlihat bahwa hampir pada setiap bulan, hubungan antara amplitudo AE (Gambar 13a), penurunan konsentrasi SSC (Gambar 13b), peningkatan nilai SST (Gambar 13c), serta EPV (Gambar 13d) tidak berhubungan. Dengan kata lain bahwa pada kondisi ideal,

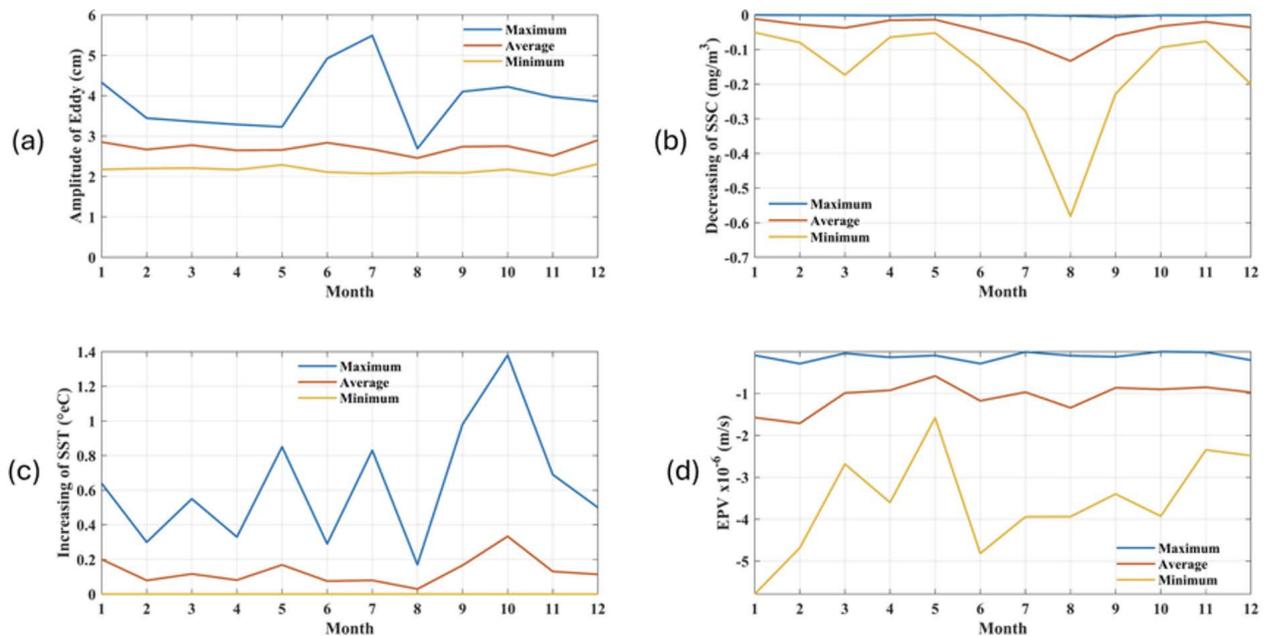


Gambar 11. (a) Distribusi lag time (hari) antara kejadian AE yang terbentuk dengan puncak nilai SSC (mg/m^3); (b) Hubungan kejadian AE dengan penurunan SSC (mg/m^3); (c) Histogram antara kejadian AE yang terbentuk dengan lag time (hari) puncak minimum SSC; (d) Hubungan kejadian AE dengan peningkatan SST; (e) Distribusi nilai EPV negatif (downwelling) dengan kejadian AE; dan (f) Hubungan kejadian AE dengan nilai EPV negatif (m/s).



Gambar 12. Sebaran spasial dari nilai parameter (a) Okubo-Weiss ($\times 10^{-12}/\text{s}$); (b) SSC (mg/m^3); (c) SST ($^{\circ}\text{C}$) pada tanggal 18 Agustus 2006; perubahan kondisi perairan (ditandai dengan gradien warna coklat-hijau) tanggal 18 – 22 Agustus 2006 untuk nilai (d) peningkatan SSH (m); (e) penurunan SSC (mg/m^3); (f) peningkatan SST ($^{\circ}\text{C}$). Garis lingkaran merah merupakan antisiklonik eddy (AE).

apabila terjadi AE di wilayah bumi bagian selatan maka



Gambar 13. Variasi bulanan dari nilai (a) amplitudo AE (cm); (b) penurunan SSC (mg/m³); (c) peningkatan SST (°C); dan (d) EPV (m/s).

terjadi peristiwa *downwelling* (Brown et al., 1989). Perairan yang mengalami kejadian *downwelling* akan memiliki kondisi penurunan nilai SSC, peningkatan nilai SST, serta nilai EPV negatif (Vinayachandran et al., 2021; Simanjuntak dan Lin, 2022). Kondisi ini menunjukkan, jika dibandingkan dengan CE, AE memiliki hubungan

yang cukup kecil terhadap dinamika SSC dan SST di daerah kajian.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkapkan bahwa arus eddy memiliki peran penting dalam mengatur *upwelling* pada perairan Teluk Tolo dan sekitarnya selama periode 2006-2020 pada bulan Juni, Juli, Agustus. Selama tahun 2006-2020 ditemukan total 341 eddy, yaitu 195 buah CE dan 146 buah AE. SSC maksimum pada wilayah penelitian sebesar 0,35 mg/m³ terjadi saat adanya CE dapat menyebabkan *upwelling* di wilayah kajian. Peningkatan dan penurunan SSC terdapat *lag time* dua dan tiga hari setelah CE dan AE terbentuk, dengan perubahan sebesar 0,1 – 0,5 mg/m³. Pengaruh eddy terhadap *upwelling* lebih dominan dibandingkan pengaruh angin, ini dibuktikan dengan nilai rata-rata EPV mencapai kurang dari $-1,5 \times 10^{-5}$ pada bulan Juni, Juli, dan Agustus, namun nilai rata-rata SSC mencapai maksimumnya yaitu 0,35 mg/m² dan SST mencapai minimumnya yaitu 27,5 °C di bulan Agustus. Pemahaman lebih dalam tentang interaksi antara arus eddy dan *upwelling* dapat membantu dalam manajemen sumber daya laut dan konservasi ekosistem di wilayah ini.

DAFTAR ACUAN

- Bakun, A., Olivar, M.P., & Govoni, J.J., 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*, 70(S2), 105–122. <https://doi.org/10.3989/SCIMAR.2006.70S2105>
- Brown, J, Colling, A., Park, D., Philips, J., Rothery, D., & Wright, J., 1989. Ocean Circulation. *The Open University*.
- Chen, G., Wang, D., & Hou, Y., 2012. The features and interannual variability mechanism of mesoscale eddies in the Bay of Bengal. *Continental Shelf Research*, 47, 178–185. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2012.07.011>
- Chen, Y., Qiu, D., Cornillon, P., & Wu, M., 2022. Chlorophyll bloom enhanced by a mesoscale eddy in the western South China Sea. *Frontiers of Earth Science*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/S11707-022-0984-3/METRICS>
- Darmawan, L.K., Pranowo, W.S., Harsono, G., Sukoco, N. B., & Putra, I., 2020. Purwarupa Informasi untuk Keselamatan Pelayaran Berdasarkan Karakteristik Eddy di Laut Banda: Information Prototype for Sailing Safety Based on Eddy Characteristics in the Banda Sea. *Jurnal Chart Datum*, 6(2), 33-39.
- Ferdyan, A., Syamsuddin, M. L., S Yuliadi, L. P., & Pranowo, W.S., 2022. Distribution and Characteristics of Eddies in Indonesian Seas. *Global Scientific Journals*. www.globalscientificjournal.com

- Ferrari, R., & Wunsch, C., 2010. The distribution of eddy kinetic and potential energies in the global ocean. *Tellus A*. <https://doi.org/10.3402/TELLUSA.V62I2.15680>
- Gaube, P., J. McGillicuddy Jr, D., & Moulin, A. J., 2019. Mesoscale eddies modulate mixed layer depth globally. *Geophysical Research Letters*, 46(3), 1505-1512.
- Kartadikaria, A.R., Miyazawa, Y., Nadaoka, K., & Watanabe, A., 2012. Existence of eddies at crossroad of the Indonesian seas. *Ocean Dynamics*, 62(1), 31–44. <https://doi.org/10.1007/S10236-011-0489-1>
- Kartadikaria, A.R., Napitupulu, G., Rangga, K., Radjawane, I. M., & Abdullah, F. A. R., 2024. Ketidakseragaman Sebaran Spasial Variabilitas Musiman Eddy di Perairan Barat Laut Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(1), 1-16.
- Li, J., Roughan, M., & Kerry, C., 2021. Dynamics of Interannual Eddy Kinetic Energy Modulations in a Western Boundary Current. *Geophysical Research Letters*, 48(19), e2021GL094115. <https://doi.org/10.1029/2021GL094115>
- Liu, F., & Tang, S., 2022. A Double-Peak Intraseasonal Pattern in the Chlorophyll Concentration Associated With Summer Upwelling and Mesoscale Eddies in the Western South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(1), e2021JC017402. <https://doi.org/10.1029/2021JC017402>
- Mann, K. H., & Lazier, J.R.N., 2006. Biological-Physical Interactions in the Oceans. *Dynamics of Marine Ecosystems*.
- McGillicuddy, D. J., 2016. Mechanisms of Physical-Biological-Biogeochemical Interaction at the Oceanic Mesoscale. *Annurev-Marine*, 8, 125–159. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-MARINE-010814-015606>
- Mustikasari, E., Dewi, L.C., Heriati, A., & Pranowo, W.S., 2015. Pemodelan pola arus barotropik musiman 3 dimensi (3D) untuk mensimulasikan fenomena upwelling di Perairan Indonesia. *Jurnal Segara*, 11(1).
- Nuzula, F., Permata Sari, L.Y., Laksmi, M., & Purba, N.P., 2016. Variabilitas Temporal Eddy di Perairan Makassar – Laut Flores. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan Unpad*, 7(1), 484116.
- Okubo, A., 1970. Horizontal dispersion of floatable particles in the vicinity of velocity singularities such as convergences. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 17(3), 445–454. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(70\)90059-8](https://doi.org/10.1016/0011-7471(70)90059-8)
- Park, J.E., Park, K.A., Kang, C.K., & Park, Y.J., 2020. Short-Term Response of Chlorophyll-a Concentration to Change in Sea Surface Wind Field over Mesoscale Eddy. *Estuaries and Coasts*, 43(3), 646–660. <https://doi.org/10.1007/S12237-019-00643-W/FIGURES/10>
- Park, K.A., Cornillon, P., & Codiga, D.L., 2006. Modification of surface winds near ocean fronts: Effects of Gulf Stream rings on scatterometer (QuikSCAT, NSCAT) wind observations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(C3), 3021. <https://doi.org/10.1029/2005JC003016>
- Pranowo, W.S., Phillips, H., & Wijffels, S., 2005. Upwelling event 2003 along south Java Sea and lesser Sunda Islands. *J. Segara*, 1(2), 63-67.
- Pranowo, W.S., Tussadiah, A., Syamsuddin, M. L., Purba, N. P., & Riyantini, I., 2016. Karakteristik dan Variabilitas Eddy di Samudera Hindia Selatan Jawa. *Jurnal Segara*, 12(3), 159–165.
- Qiu, B., Chen, S., Klein, P., Sasaki, H., & Sasai, Y., 2014. Seasonal mesoscale and submesoscale eddy variability along the North Pacific Subtropical Countercurrent. *Journal of Physical Oceanography*, 44(12), 3079-3098.
- Ramadhan, M., Sugianto, D., Wirasatriya, A., Setiyono, H., Kunarso, & Maslukah, L., 2020. Characteristics of Halmahera Eddy and its relation to sea surface temperature, chlorophyll-a, and thermocline layer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012039>
- Robinson, A.R., 1983. Overview and summary of eddy science. In *Eddies in marine science* (pp. 3-15). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Robinson, A.R., 2012. *Eddies in marine science*. Springer Science & Business Media.
- Shafeeque, M., Balchand, A.N., Shah, P., George, G., S., Varghese, E., Joseph, A.K., Sathyendranath, S., & Platt, T., 2021. Spatio-temporal variability of chlorophyll-a in response to coastal upwelling and mesoscale eddies in the South Eastern Arabian Sea. *International Journal of Remote Sensing*, 42(13), 4840–4867. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1899329>
- Shinoda, T., Han, W., Metzger, E.J., & Hurlburt, H.E., 2012. Seasonal variation of the Indonesian throughflow in Makassar Strait. *Journal of Physical Oceanography*, 42(7), 1099–1123.
- Simanjuntak, F., & Lin, T. H., 2022. Monsoon effects on chlorophyll-a, sea surface temperature, and ekman dynamics variability along the southern coast of lesser Sunda islands and its relation to ENSO and IOD based on satellite observations. *Remote Sensing*, 14(7), 1682.
- Simanungkalit, Y.A., Pranowo, W.S., Purba, N.P., Riyantini, I., & Nurrahman, Y., 2018. Influence of El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomena on Eddies Variability in the Western Pacific Ocean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental*

- Science*, 176(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/176/1/012002>
- Singh, A., Gandhi, N., Ramesh, R., & Prakash, S., 2015. Role of cyclonic eddy in enhancing primary and new production in the Bay of Bengal. *Journal of Sea Research*, 97, 5–13. <https://doi.org/10.1016/J.SEARES.2014.12.002>
- Small, R. J., deSzoeko, S. P., Xie, S. P., O'Neill, L., Seo, H., Song, Q., Cornillon, P., Spall, M., & Minobe, S., 2008. Air–sea interaction over ocean fronts and eddies. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 45(3–4), 274–319. <https://doi.org/10.1016/J.DYNATMOCE.2008.01.001>
- Stern, M.E., 1965. Interaction of a uniform wind stress with a geostrophic vortex. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*, 12(3), 355–367. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(65\)90007-0](https://doi.org/10.1016/0011-7471(65)90007-0)
- Suharyo, G.B.T., Purba, N. P., Yuliandi, L.P.S., & Syamsuddin, M.L., 2020. Kondisi suhu dan salinitas serta korelasinya dengan variabilitas eddy di Perairan Halmahera dan Mindanao. *Depik*, 9(3), 421–427.
- Umaroh, A.S., & Muslim., 2017. The Dynamics of Sea Surface Height and Geostrophic Current in the Arafura Sea. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 55(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/55/1/012046>
- Vinayachandran, P.N.M., Masumoto, Y., Roberts, M.J., Huggett, J.A., Halo, I., Chatterjee, A., Amol, P., Gupta, G.V.M., Singh, A., Mukherjee, A., Prakash, S., Beckley, L.E., Raes, E.J., & Hood, R., 2021. Reviews and syntheses: Physical and biogeochemical processes associated with upwelling in the Indian Ocean. *Biogeosciences*, 18(22), 5967–6029. <https://doi.org/10.5194/BG-18-5967-2021>
- Vortmeyer-Kley, R., Gräwe, U., & Feudel, U., 2016. Detecting and tracking eddies in oceanic flow fields: a Lagrangian descriptor based on the modulus of vorticity. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 23(4), 159–173.
- Wardani, R., Pranowo, W. S., & Indrayanti, E., 2013. Struktur vertikal upwelling–downwelling di Samudera Hindia Selatan Jawa hingga Selatan Bali berdasarkan salinitas musiman periode 2004–2010. *Depik*, 2(3).
- Wardani, R., Pranowo, W. S., & Indrayanti, E., 2014. Variabilitas salinitas berkaitan dengan ENSO dan IOD di Samudera Hindia (selatan Jawa hingga selatan Nusa Tenggara) periode tahun 2004–2010. *Jurnal Harpodon Borneo*, 7(1).
- Weiss, J., 1991. The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 48(2–3), 273–294. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90088-Q](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90088-Q)
- Wirasatriya, A., Susanto, R.D., Kunarso, K., Jalil, A.R., Ramdani, F., & Puryajati, A.D., 2021. Northwest monsoon upwelling within the Indonesian seas. *International Journal of Remote Sensing*, 42(14), 5437–5458. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1918790>
- Wu, M.L., Wang, Y.S., Wang, Y.T., Sun, F.L., Li, X., Gu, F.F., & Xiang, J.C., 2022. Vertical patterns of chlorophyll a in the euphotic layer are related to mesoscale eddies in the South China Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9, 948665. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.948665/BIBTEX>
- Zatsepin, A.G., Baranov, V.I., Kondrashov, A.A., Korzh, A.O., Kremenetskiy, V.V., Ostrovskii, A.G., & Soloviev, D.M., 2011. Submesoscale eddies at the Caucasus Black Sea shelf and the mechanisms of their generation. *Oceanology*, 51, 554–567.
- Zhan, P., Subramanian, A.C., Yao, F., Kartadikaria, A.R., Guo, D., & Hoteit, I., 2016. The eddy kinetic energy budget in the Red Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7), 4732–4747.
- Zhao, D., Xu, Y., Zhang, X., & Huang, C., 2021. Global chlorophyll distribution induced by mesoscale eddies. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112245. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.112245>

**PENGARUH INTRUSI AIR LAUT DAN HUBUNGANNYA TERHADAP
TUTUPAN LAHAN TERBANGUN DI KECAMATAN PASAR MANNA
DAN SEKITARNYA, KOTA MANNA, PROVINSI BENGKULU**

***THE INFLUENCE OF SEAWATER INTRUSION AND ITS RELATIONSHIP TO
BUILT-UP LAND COVER IN PASAR MANNA SUB-DISTRICT
AND ITS SURROUNDINGS, MANNA CITY, BENGKULU PROVINCE***

Karmila Putri Landia¹ dan Budhi Setiawan^{1*}

¹ Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jl. Raya Palembang – Prabumulih Km. 32, Sumatera Selatan, 30662

*Email: budhi.setiawan@unsri.ac.id

Diterima : 18-02-2024 , Disetujui : 22-05-2024

ABSTRAK

Perubahan penggunaan lahan pada daerah pesisir akibat adanya peningkatan aktivitas manusia yang meningkat dalam beberapa dekade terakhir menyebabkan pencemaran air tanah. Intrusi air laut merupakan salah satu bentuk pencemaran air tanah yang diakibatkan oleh masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer. Peningkatan jumlah bangunan berupa rumah masyarakat akan menyebabkan over-pumping sehingga muka air tanah menurun dan menyebabkan air laut masuk kedalam air tanah. Penelitian dilakukan di daerah pesisir Pantai Pasar Bawah, Kecamatan Pasar Bawah, Kota Manna. Tujuan dari penelitian mengidentifikasi pengaruh aktivitas antropogenik khususnya tutupan lahan terbangun terhadap intrusi air laut. Data yang digunakan adalah data primer berupa sampel air sumur yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai salinitas, DHL (daya hantar listrik), dan TDS (Total dissolved solids) serta data sekunder berupa data citra satelit yaitu Landsat 8 OLI/TIRS yang diekstraksi untuk mengetahui nilai tutupan lahan terbangun dengan menggunakan indeks *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI). Hasil penelitian menunjukkan pada daerah dengan indeks tutupan lahan terbangun tinggi akan berpengaruh terhadap peningkatan nilai salinitas, DHL (daya hantar listrik), dan TDS (Total dissolved solids). Berdasarkan hasil analisis titik pengamatan 9 yang berada di area indeks tutupan lahan terbangun tinggi memiliki tingkat salinitas tertinggi yaitu 42.6 ppm, begitupun dengan nilai DHL yaitu 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai TDS dengan nilai 100,1 mg/l. Sebaliknya pada daerah penelitian 5 yang berada di indeks tutupan lahan terbangun rendah memiliki nilai salinitas terendah yaitu 17.3 ppm, begitupun dengan nilai DHL yaitu 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai TDS dengan nilai 45 mg/l.

Kata kunci: antropogenik, DHL, intrusi air laut, NDBI, overpumping, salinitas, TDS

ABSTRACT

Land use change in coastal areas due to increased human activities has led to groundwater pollution in recent decades. Seawater intrusion is one evidence of groundwater pollution caused by the entry of seawater below the ground surface through aquifers. An increase in the number of buildings in the form of community houses will cause over-pumping, decreasing the groundwater table and causing seawater to enter the groundwater. The research was conducted in the coastal area of Pasar Bawah Beach, Pasar Bawah District, Manna City. The study aimed to identify the influence of anthropogenic activities, especially built-up land cover, on seawater intrusion. The data used are primary in the form of well water samples, which are then analyzed to obtain salinity, DHL (electrical conductivity), and TDS (Total dissolved solids) values, and secondary data in the form of satellite image data, namely Landsat 8 OLI/TIRS which are extracted to determine the value of built-up land cover using the Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) index. The results showed that areas with a high built-up land cover index will affect the increase in salinity, DHL (electrical conductivity), and TDS (total dissolved solids) values. Based on the analysis of observation point 8, which is in the area of high built-up land cover index, has the highest salinity level of 42.6 ppm, as well as the DHL value of 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the TDS value with a value of 100.1 mg/l. Conversely, observation area 5 in the low built-up land cover index had the lowest salinity value of 17.3 ppm, a DHL value of 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and a TDS value of 45 mg/l.

Keyword: anthropogenic, DHL, seawater intrusion, NDBI, overpumping, salinity, TDS

PENDAHULUAN

Pemanfaatan air tanah pada masyarakat tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Begitu pula pada masyarakat di wilayah pesisir, walaupun pada pemanfaatannya terdapat permasalahan berupa penurunan kualitas air tanah yang ditandai dengan air yang tidak bersih dan rasanya asin akibat adanya intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan pencemaran air tanah yang diakibatkan oleh masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer yang dekat dengan pantai akibat perubahan kesetimbangan hidrolik antara tekanan air tawar dan air laut (Herlambang & Indriatmoko, 2005).

Dampak intrusi air laut pada akuifer pesisir merupakan masalah kontaminasi air tanah yang utama di seluruh dunia. Akuifer dangkal di Jazan, bagian barat daya pantai Laut Merah di Arab Saudi, rentan terhadap salinisasi oleh intrusi air laut karena eksploitasi air tanah berlebihan (Abdalla, 2015). Peningkatan salinitas air laut akan berkaitan dengan nilai *Electrical Conductivity* (EC). Di pulau Koral, Kepulauan Seribu *Electrical Conductivity* (EC) cenderung meningkat akibat kandungan ion garam yang besar di dalam air (Cahyadi, Adji, Marfai, Noviandaru, & Agniy, 2017). Pemompaan air berlebihan menciptakan rongga di dalam akuifer, yang mengakibatkan permukaan air tanah turun di bawah permukaan laut. perbedaan ketinggian tersebut memungkinkan unsur-unsur yang mengandung garam seperti klorida (Cl) dari air laut untuk menyusup ke dalam air tanah sehingga nilai *Electrical Conductivity* (EC) meningkat (Nurmaladewi, Saktiansyah, Jayadisastra, Sulfitriana, Mikarna, & Okto, 2023). Prediksi intrusi air laut dapat ditentukan oleh beberapa parameter air tanah,

antara lain *Total dissolved solids* (TDS) dan *Electrical Conductivity* (EC). Jumlah garam terlarut yang mempengaruhi salinitas air tanah dapat diasumsikan sebagai indikator terjadinya intrusi air laut (Arfah, Tanjung, Syahreza, & Hartati, 2021).

Aktivitas manusia yang meningkat dalam beberapa dekade terakhir, menyebabkan perubahan penggunaan lahan. Secara global, perubahan lahan yang menyebabkan kontaminasi air tanah merupakan masalah lingkungan yang signifikan. Sebagai contoh, konsumsi air di daerah pesisir Pantai Parangtritis, Yogyakarta masih mengandalkan sumber air tanah dengan membuat sumur gali dan sumur bor. Dengan jumlah kunjungan wisatawan dan fasilitas wisata yang ada, maka kebutuhan akan kebutuhan akan air juga akan meningkat. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya intrusi air laut (Wilopo, Risanti, Susatio, & Eka Putra, 2021). Peningkatan perkembangan pesisir di daerah Labuhan Kertasari, Sumbawa Barat ditandai dengan banyaknya kawasan minapolitan dan kawasan pariwisata dengan banyak kegiatan di dalamnya, seperti perkebunan, industri pengolahan rumput laut industri pengolahan rumput laut, dan aktivitas masyarakat setempat. Perkembangan wilayah pesisir ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan air bersih (Ulfa, Hilmi, Wijaya, & Hadimi, 2020). Perkembangan kawasan pesisir ini berdampak pada meningkatnya kebutuhan air bersih. Hal tersebut akan menyebabkan *over-pumping* sehingga muka air tanah menurun dan menyebabkan air laut masuk ke dalam air tanah melalui akuifer.

Citra satelit dapat mendeteksi perubahan permukaan lahan ini dengan baik dengan menggunakan band inframerah termal (TIR), inframerah tampak dan inframerah dekat (VNIR), dan inframerah gelombang

pendek (SWIR) (Guha, 2016). Berbagai jenis penggunaan lahan dan tutupan lahan di wilayah perkotaan yang heterogen memberikan respons yang berbeda pada band data satelit Landsat 8 TIRS (Sultana & A.N.V, 2020). Tutupan lahan terbangun di daerah pesisir pantai dapat diketahui nilainya dengan menggunakan indeks *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) yang diekstraksi dari Landsat 8 OLI/TIRS. Indeks NDBI akan fokus untuk menyoroti daerah perkotaan atau kawasan terbangun di mana biasanya ada pemantulan yang lebih tinggi pada area dengan yang telah terbangun sehingga akan memiliki indeks lebih tinggi daripada area yang belum terbangun. Selain menggunakan indeks NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*) perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan dapat diketahui nilainya menggunakan NDWI (*Normalized Difference Water Index*) yang berfokus terhadap perubahan luasan badan air akibat kegiatan antropogenik menggunakan data Sentinel-2. Data Sentinel-2 berupa kumpulan data multi-spektral yang digunakan untuk pemetaan, perencanaan, dan pemantauan transformasi lahan. Identifikasi badan air di pesisir juga dapat dilakukan oleh dataset Sentinel- 2 (Halder & Bandyopadhyay, 2022)

Intrusi air laut pada pesisir pantai juga memerlukan pendekatan geologi yang terkait dengan karakteristik litologi akuifer (Zamroni, Sugarbo, Trisnaning, & Prasetya, 2020). Karakteristik litologi akuifer pada daerah pesisir didapatkan dengan melakukan studi literatur terkait hidrogeologi regional pada daerah penelitian. Hidrogeologi regional memuat jenis akuifer, litologi atau material penyusun akuifer serta bagaimana karakteristik akuifer tersebut dari segi permeabilitas dan porositas.

Pada daerah penelitian terdapat banyak aktivitas antropogenik berupa pembangunan rumah masyarakat serta di sekitar pesisir pantai dibangun taman sebagai sektor wisata dan sektor ekonomi masyarakat sekitar. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh aktivitas antropogenik khususnya tutupan lahan terbangun terhadap intrusi air laut yang berdampak pada sumber daya air tanah di akuifer dangkal di Kecamatan Pasar Bawah, Kota Manna, Bengkulu Selatan . Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan analisa hidrokimia yang digabungkan dengan dataset penginderaan jauh (Landsat 8 OLI/TIRS).

Daerah penelitian berada di Kecamatan Pasar Manna, Kabupaten Bengkulu Selatan, Provinsi Bengkulu. Pada daerah penelitian diambil sembilan titik sampel di sepanjang pesisir pantai Pasar Bawah yang tersebar di daerah penelitian.

METODE

Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang diperoleh dari observasi lapangan berupa data sampel air sumur, diambil sebanyak sembilan sampel yang tersebar di daerah penelitian. Selain itu, digunakan data sekunder berupa data citra satelit yaitu Landsat 8 OLI/TIRS yang

diunduh secara gratis di laman resmi (United States Geological Survey , 2023)

Pemrosesan data Landsat

Berbagai teknik pemrosesan citra satelit dikembangkan untuk membantu menganalisis faktor-faktor yang berhubungan dengan kegiatan antropogenik salah satunya tutupan lahan terbangun. Tutupan lahan terbangun dapat diketahui nilainya dengan menggunakan indeks *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI). NDBI diolah menggunakan teknik *image classification* dengan memanfaatkan panjang gelombang SWIR (*shortwave infrared*) dan NIR (*near-infrared*) (Kshetri, 2022). Pada Landsat 8 OLI/TIRS data NIR dapat menggunakan band 5, sedangkan data SWIR dapat menggunakan band 6, rumus yang digunakan adalah

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

$$NDBI = (Band 6 - Band 5) / (Band 6 + Band 5)$$

Aktivitas antropogenik juga berpengaruh terhadap permukaan air, NDWI (*Normalized Difference Water Index*) digunakan untuk membedakan permukaan bumi di lahan basah, danau atau badan air dan untuk memperhitungkan dimensi air di permukaan bumi (Lioumbas, et al., 2023). NDWI diolah dengan memanfaatkan pita *green* dan NIR (*near-infrared*) dari citra Sentinel-2. Nilai NDWI yang lebih besar dari nol diasumsikan bahwa area ini mewakili permukaan air yang sebenarnya dan nilai kurang dari atau sama dengan nol menunjukkan area non-perairan atau permukaan di wilayah tertentu. NDWI dihitung dengan menggunakan persamaan

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

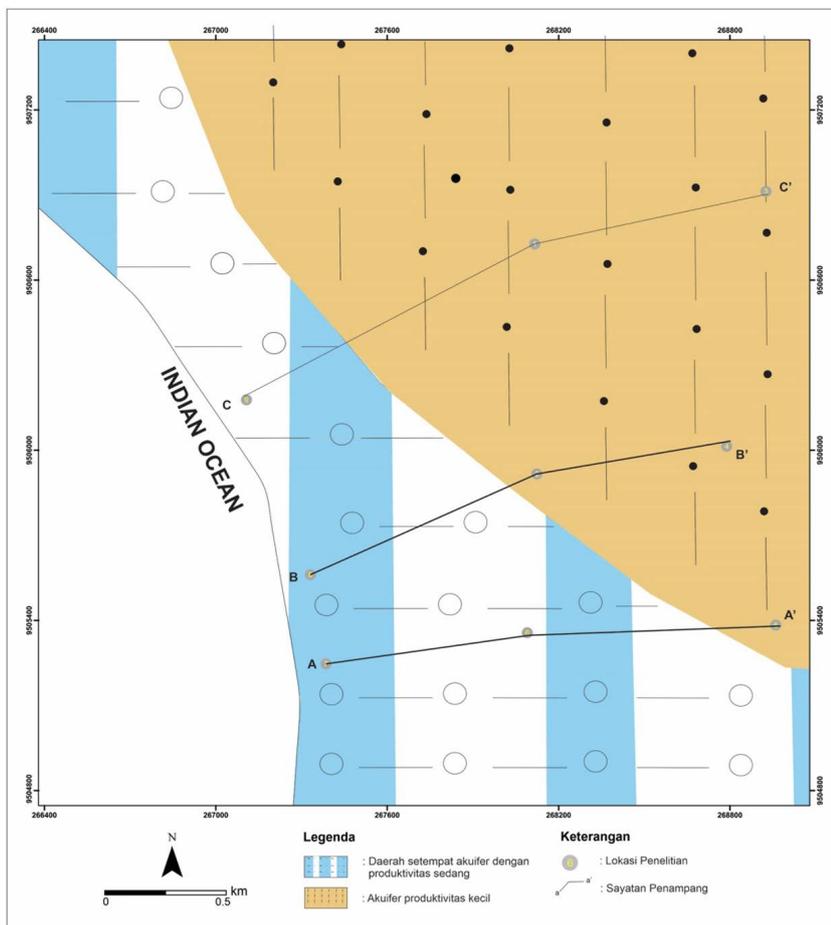
$$NDBI = (Band 3 - Band 8) / (Band 3 + Band 8)$$

Analisis hidrokimia sampel air tanah

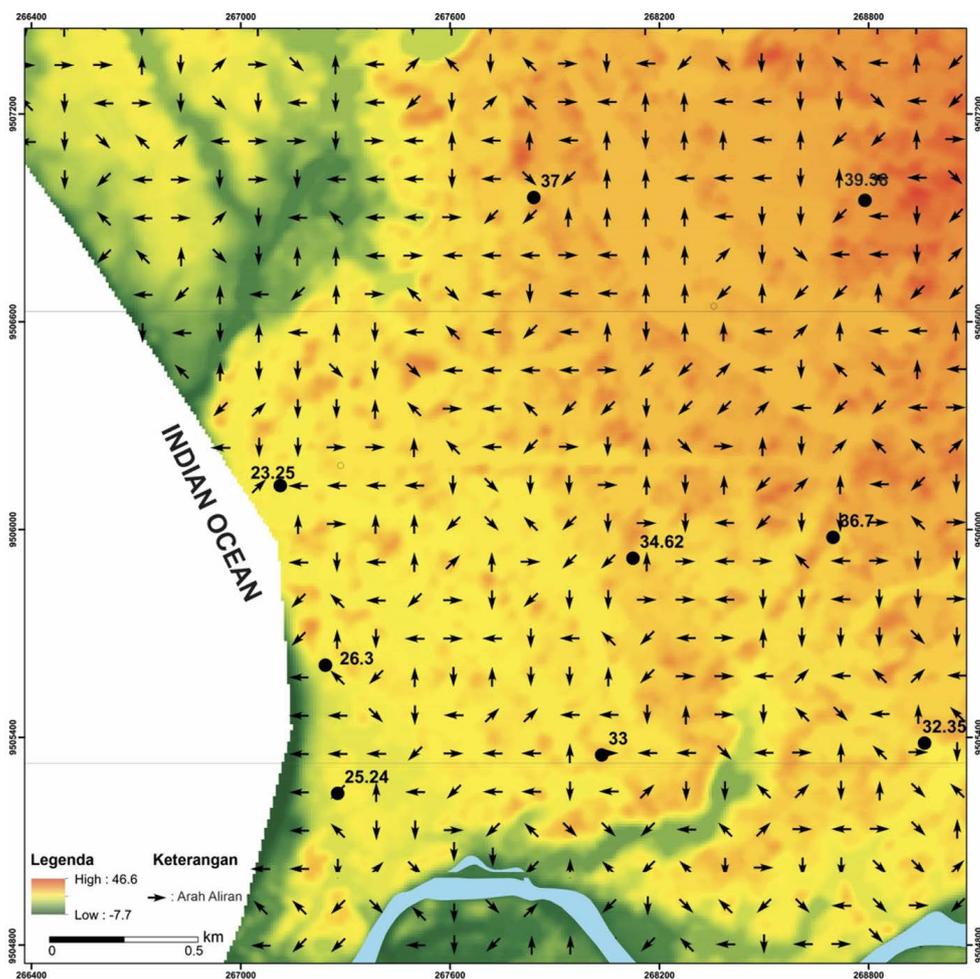
Dilakukan analisis hidrokimia pada sembilan sampel air sumur yang dikumpulkan pada daerah penelitian berupa analisis salinitas, DHL, dan TDS. Salinitas merupakan tingkat kadar garam terlarut dalam air, nilai salinitas berbanding lurus dengan nilai DHL air, tujuan dilakukan analisis nilai salinitas dan DHL pada sampel adalah untuk mengetahui apakah air tanah pada daerah penelitian telah terkontaminasi oleh air laut. Selanjutnya analisis TDS bertujuan untuk mengetahui jumlah partikel terlarut berupa senyawa organik maupun non organik yang ada di dalam air. Analisis hidrokimia sampel tersebut dilakukan di Laboratorium Lingkungan Hidup, Palembang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian berada di pesisir Pantai Pasar Bawah, Kecamatan Pasar Manna, Kabupaten Bengkulu Selatan, Provinsi Bengkulu. Berdasarkan Peta



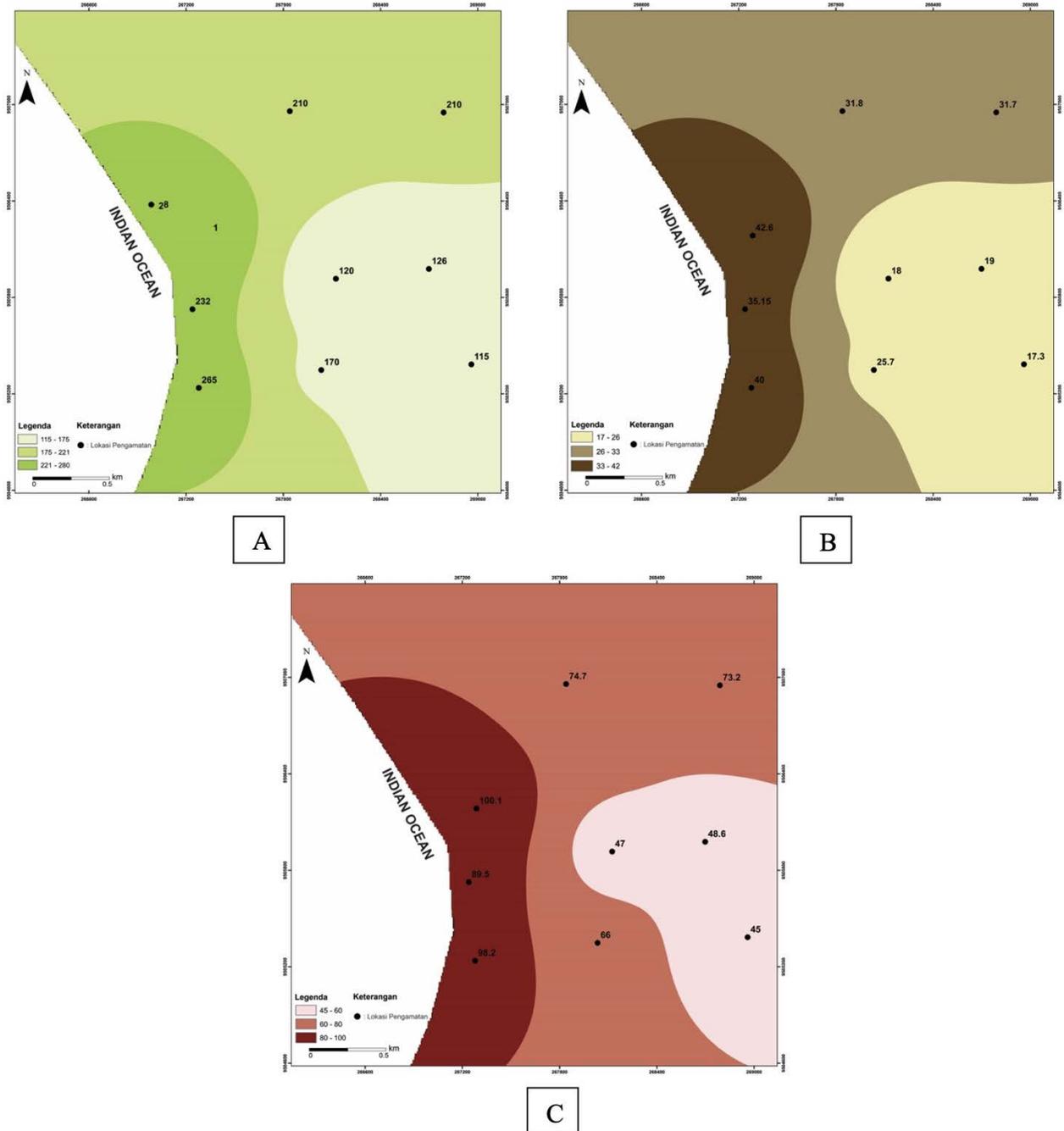
Gambar 1. Peta Hidrogeologi Daerah Penelitian (Setiadi & Yudhanagara, 2011)



Gambar 2. Peta muka air tanah daerah penelitian

Tabel 1. Nilai DHL, Salinitas dan TDS berdasarkan 9 titik sampel

Kode	Koordinat (UTM)		DHL ($\mu\text{S/cm}$)	Salinitas (ppm)	TDS (mg/l)
	X	Y			
1	267840	9506959	210	31.8	74,7
2	268124	9505917	120	18	47
3	268789	9506951	209	31.7	73,2
4	268698	9505978	126.36	19	48,6
5	268960	9505384	115	17.3	45
6	268034	9505349	170	25.7	66
7	267278	9505238	265.2	40	98,2
8	267239	9505727	232	35.15	89,5
9	267286	9506185	281	42.6	100,1

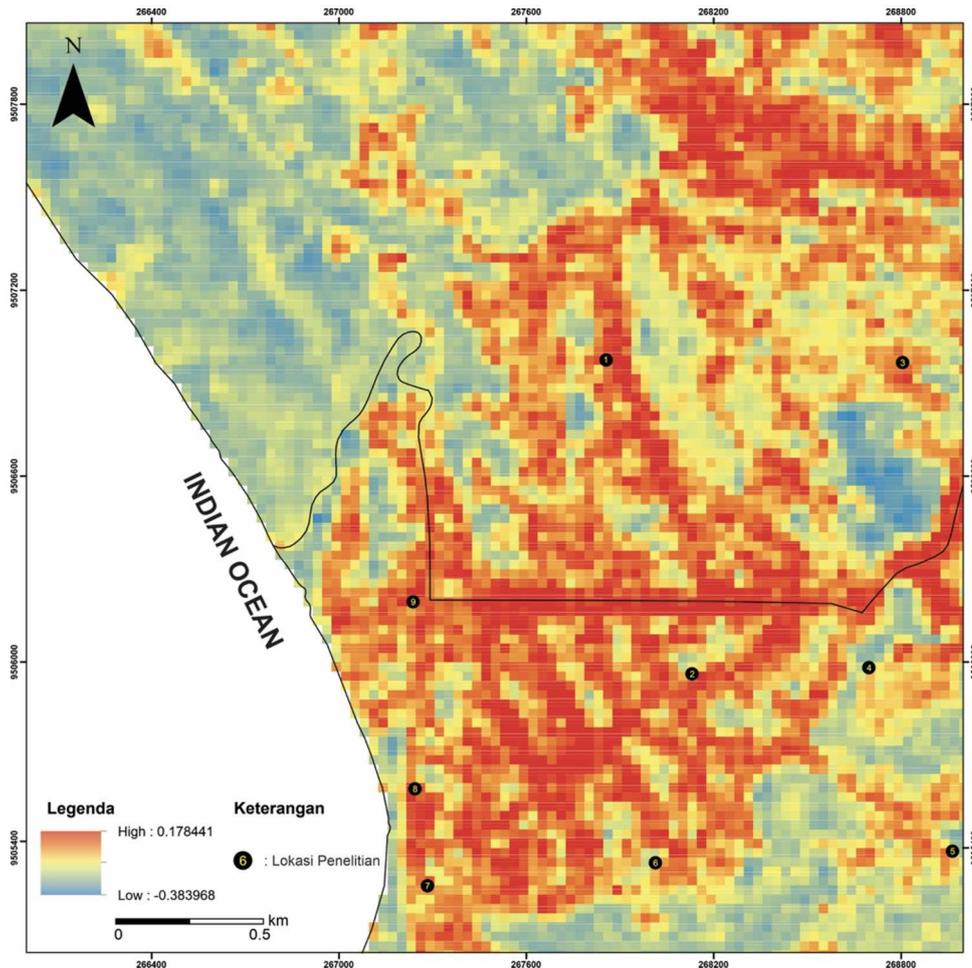


Gambar 3. (A) Peta Sebaran DHL (B) Peta Sebaran Salinitas (C) Peta Sebaran TDS

dua tipe akuifer, yaitu daerah setempat akuifer dengan produktivitas sedang, daerah ini didominasi oleh material aluvium terdiri atas bongkah, kerikil, pasir, lanau, lumpur dan lempung, umumnya memiliki permeabilitas dan porositas sedang sampai-tinggi. Selanjutnya akuifer produktivitas kecil, umumnya debit mata air kecil, air tanah dangkal dengan jumlah terbatas diperoleh di lembah-lembah dan zona pelapukan batuan. Daerah ini didominasi oleh litologi batupasir tufan, batulempung tufan, batupasir konglomeratan dan batupasir.

Peta muka air tanah dibuat berdasarkan elevasi air

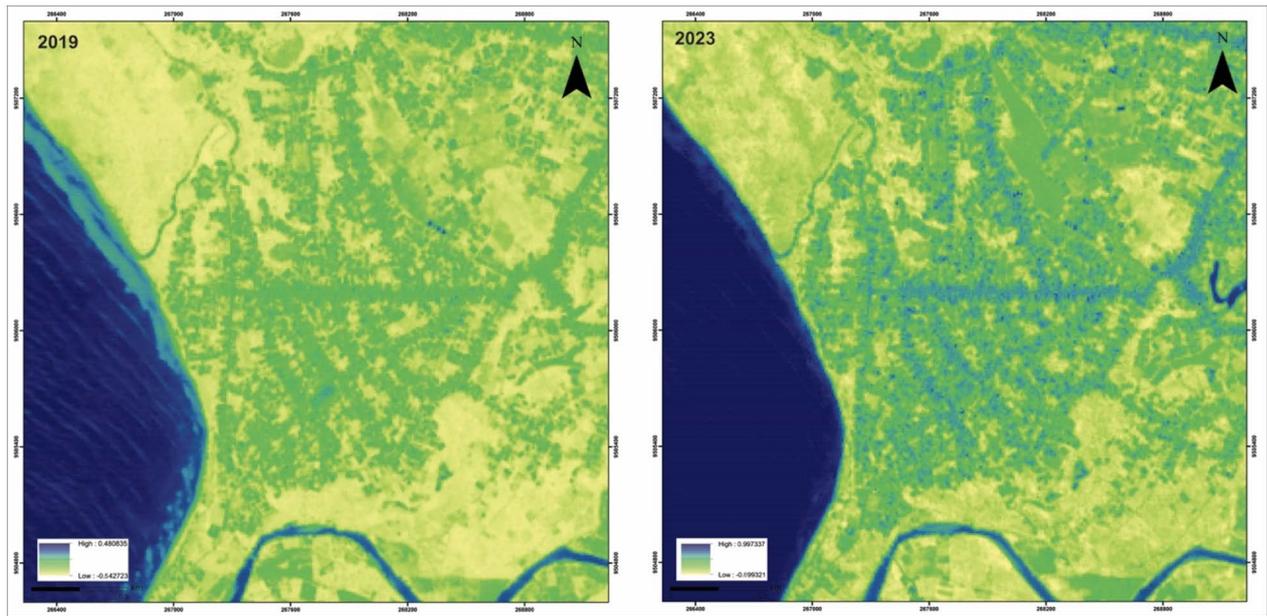
Berdasarkan hasil analisis nilai DHL (daya hantar listrik) pada sembilan titik sampel (Tabel 1). Pada tabel 1 menunjukkan DHL di Kecamatan Pasar Bawah memiliki nilai minimal 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang terletak di titik pengamatan 5 dan nilai maksimal 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yang terletak di titik pengamatan 9 dan nilai rata-rata 192,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hasil analisis DHL selaras dengan hasil pengukuran salinitas hal tersebut dikarenakan semakin tinggi nilai salinitas suatu perairan maka semakin tinggi pula nilai DHL karena banyaknya garam-garam terlarut yang dapat terionisasi (Astuti, 2014), tingkat salinitas tertinggi memiliki nilai 42.6 ppm yang berada di titik pengamatan



Gambar 4. Distribusi *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI) pada daerah

tanah yang menunjukkan daerah-daerah yang memiliki tinggi muka air tanah yang sama yang dibuat melalui interpolasi data titik-titik sumur yang telah diketahui (Aryasetya, 2017). Dari gambar kontur (Gambar 1) dapat dilihat bahwa semakin ke arah pantai kontur akan semakin turun. Kontur tertinggi memiliki nilai 39,38 meter. Sedangkan kontur terendah adalah titik pengamatan yang merupakan titik terdekat dari pantai yaitu 23,25 meter. Dari peta kontur muka air tanah (Gambar 2) dapat ditentukan garis-garis arah aliran (*flow line*) air tanah dengan menarik garis tegak lurus kontur muka air tanah.

9 dan tingkat salinitas terendah bernilai 17.3 ppm terletak pada titik pengamatan 5. Nilai salinitas pada daerah penelitian memiliki rata-rata 29,02 ppm. Selanjutnya hasil analisis TDS menunjukkan nilai tertinggi berada di titik pengamatan 9 dengan nilai 100,1 mg/l dan nilai terendah berada di titik pengamatan 5 sebesar 45 mg/l TDS dan salinitas saling mempengaruhi yaitu semakin tinggi konsentrasi TDS, maka semakin tinggi pula konsentrasi salinitas air tanah tersebut. Hal ini berdasarkan bahan organik terlarut seperti asam humat dan asam fulvik, tingkat TDS dan salinitas yang tinggi dapat menyebabkan akumulasi bahan organik terlarut dan mempengaruhi laju



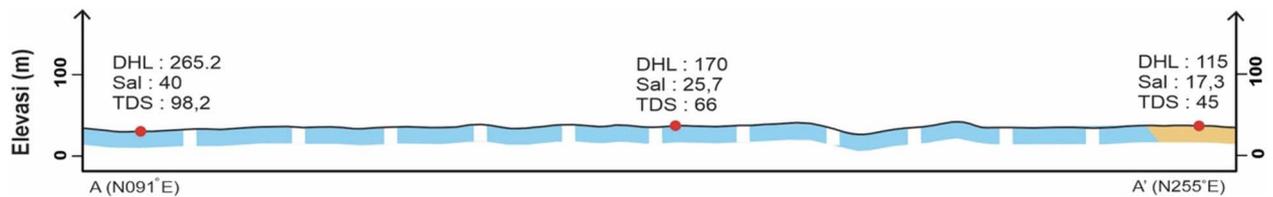
Gambar 5. Perbandingan NDWI (*Normalized Difference Water Index*)

dekomposisi bahan organik (Yolanda, Mawardin, Komarudin, & Risqita, 2023)

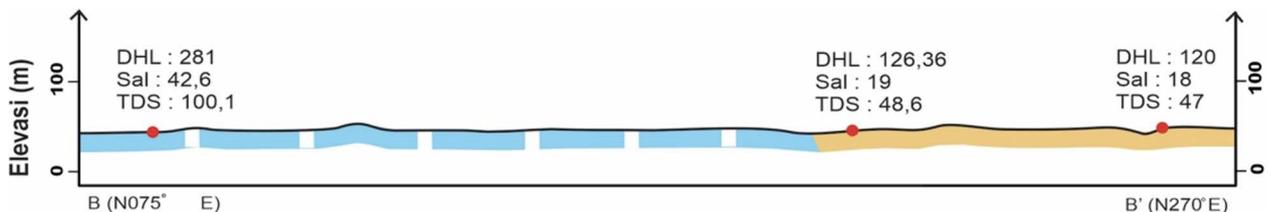
Dari citra satelit (Gambar 4) yang telah diproses untuk mengetahui indeks tutupan lahan terbangun (*Normalized Difference Built-Up Index*) pada daerah penelitian diindikasikan bahwa indeks daerah terbangun tinggi disimbolkan dengan warna merah dan berada di bagian selatan-barat daya daerah penelitian, sebaliknya indeks daerah terbangun dengan nilai rendah disimbolkan dengan warna biru terletak pada bagian barat laut-utara daerah penelitian. Dari 9 titik pengambilan sampel, area

titik pengamatan yang memiliki indeks terbangun tinggi ditunjukkan pada titik pengamatan 1,3,7,8, dan 9, sebaliknya area yang memiliki indeks terbangun rendah ditunjukkan pada titik pengamatan 2,4,5, dan 6 ditunjukkan pada gambar 4.

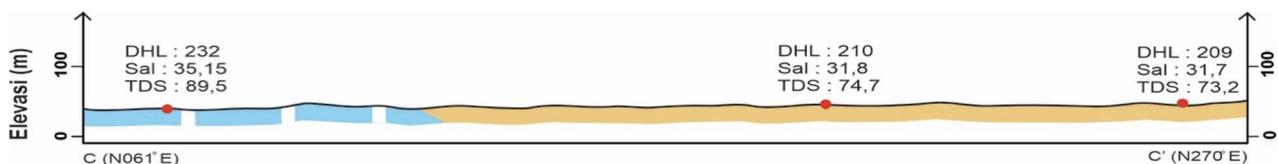
Pada daerah penelitian, berdasarkan perbandingan NDWI yang digunakan untuk melihat perubahan area permukaan air, dapat diinterpretasikan bahwa terdapat peningkatan dari luasan badan air pada daerah penelitian. Pada tahun 2019 badan air pada daerah penelitian 12 km² pada bagian barat daya dan timur laut daerah penelitian,



Gambar 6. Profil penampang hidrogeologi lintasan A-A'



Gambar 7. Profil penampang hidrogeologi lintasan B-B'



Gambar 8. Profil penampang hidrogeologi lintasan C-C'

kemudian pada tahun 2023 luasan daerah badan air di permukaan meluas hingga 30 km² dan tersebar secara merata di daerah penelitian. Hal tersebut dapat terjadi akibat pengaruh aktivitas antropogenik.

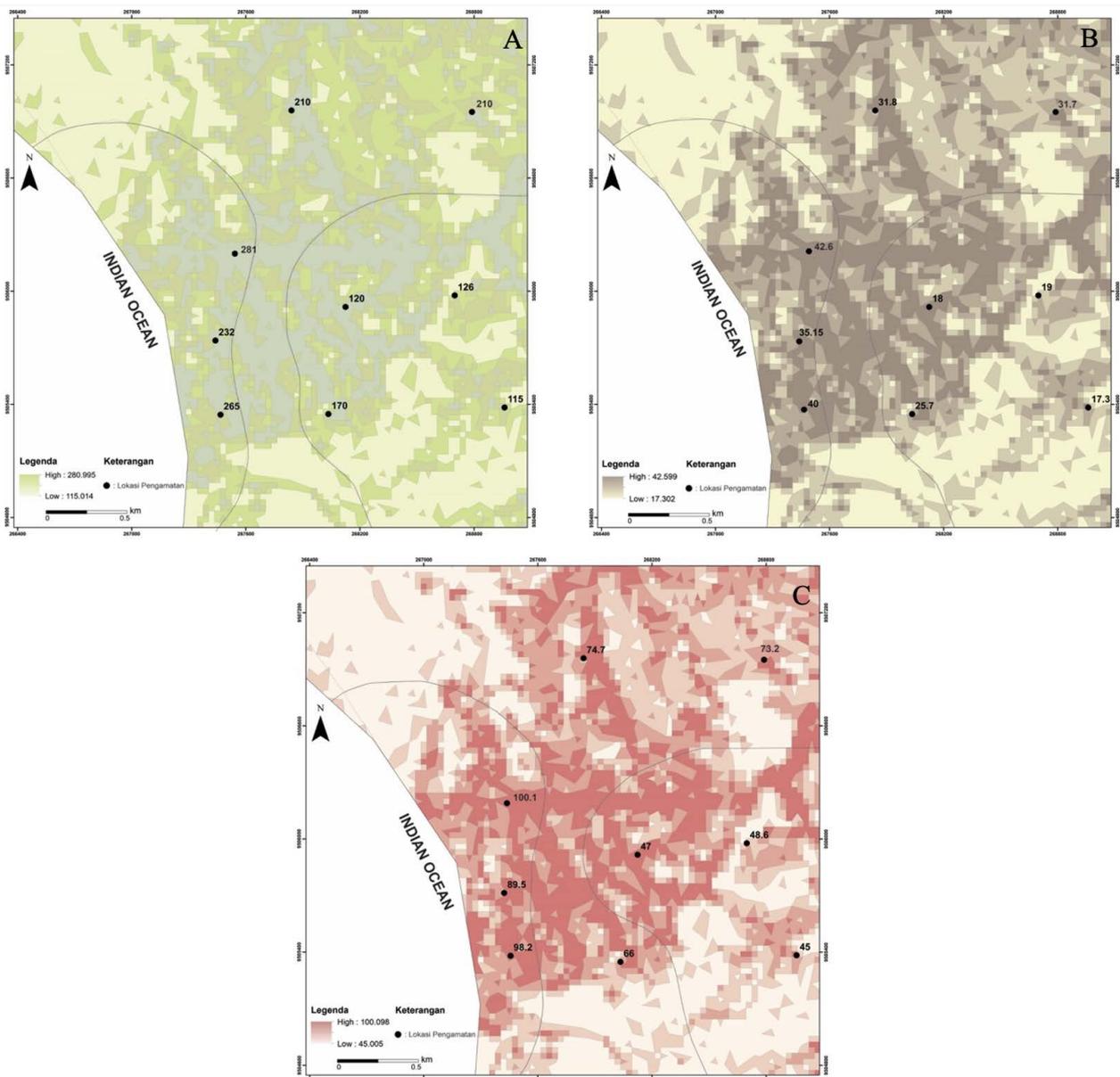
Hubungan Intrusi Air Laut dengan Kontrol Litologi Akuifer

Analisis hidrogeologi akuifer penyusun sistem air tanah pada daerah penelitian terbagi menjadi tiga rekonstruksi penampang hidrogeologi dengan skala 1:10.000. Pada penampang A-A' didominasi oleh akuifer produktivitas sedang yang memiliki permeabilitas dan porositas sedang – tinggi dengan nilai DHL, salinitas dan TDS tertinggi berada pada titik pengamatan 7 dan nilai DHL, salinitas dan TDS terendah berada pada titik pengamatan 5 (Gambar 6), kemudian pada penampang B-

B' juga didominasi oleh akuifer produktivitas sedang yang memiliki permeabilitas dan porositas sedang – tinggi dengan nilai DHL, salinitas dan TDS tertinggi berada pada titik pengamatan 8 dan nilai DHL, salinitas dan TDS yang terendah berada pada titik pengamatan 4 (Gambar 7), sedangkan pada penampang C-C' didominasi oleh akuifer produktivitas kecil yang umumnya memiliki porositas dan permeabilitas buruk dengan nilai DHL, salinitas dan TDS tertinggi berada pada titik pengamatan 9 dan nilai DHL, salinitas dan TDS terendah berada pada titik pengamatan 3 (Gambar 8).

Hubungan Intrusi Air Laut dengan Aliran Air Tanah

Peta muka air tanah menunjukkan garis aliran air tanah yang berfungsi untuk memprediksi arah



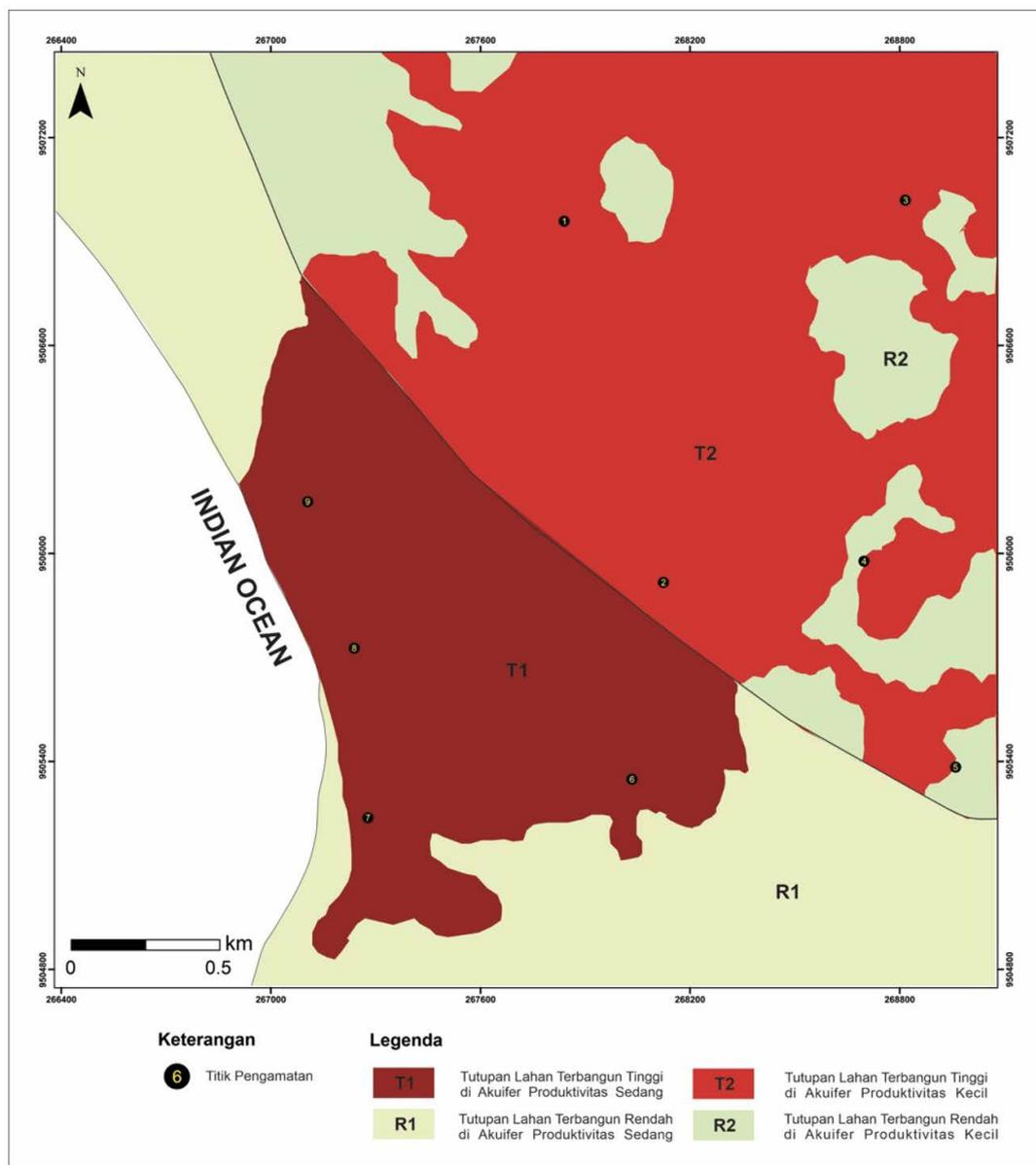
Gambar 9. Hubungan parameter hidrokimia ditunjukkan dengan overlay peta (A) DHL- NDBI (B) Salinitas- NDBI (C) TDS- NDBI

pencemaran air tanah. Arah aliran air tanah cenderung bergerak dari elevasi muka air tanah tinggi ke arah elevasi muka air tanah yang rendah. Pada peta muka air tanah daerah penelitian, elevasi muka air tanah terendah terletak di titik pengamatan 9 dan elevasi muka air tanah tertinggi terletak di titik pengamatan 3. Muka air tanah dapat mengalami penurunan, yang diakibatkan oleh pemompaan sumur yang berlebihan (*over pumping*). Di saat turunnya muka air tanah, maka muka air laut memiliki elevasi dan berat jenis yang lebih tinggi sehingga mengalir dan mengintrusi air tanah melalui lapisan akuifer. Akibat dari intrusi air laut tersebut nilai DHL, salinitas dan TDS akan mengalami peningkatan. Hal tersebut terlihat pada peta muka air tanah di titik pengamatan 3, dimana arah aliran air dari laut mengarah ke titik pengamatan 9 sehingga nilai parameter hidrokimia pada titik pengamatan tersebut memiliki nilai tertinggi dari semua titik pengamatan.

Hubungan Intrusi Air Laut dengan Tutupan Lahan Terbangun

Hubungan antara nilai DHL, salinitas dan TDS dengan indeks NDBI menunjukkan pola distribusi yang meningkat (Gambar 9), yang mengindikasikan bahwa nilai DHL, salinitas dan TDS mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan indeks NDBI. DHL, salinitas dan TDS memiliki nilai yang lebih rendah di daerah dengan tutupan lahan terbangun rendah hal tersebut dapat dilihat pada titik pengamatan 5, sebaliknya DHL, salinitas dan TDS yang lebih tinggi dijumpai pada daerah dengan tutupan lahan terbangun tinggi yaitu pada titik pengamatan 9.

Distribusi nilai DHL, salinitas dan TDS secara signifikan dipengaruhi oleh tutupan lahan terbangun di daerah penelitian. Tutupan lahan terbangun yang tinggi mencirikan adanya peningkatan pembangunan kawasan



Gambar 10. Peta *Overlay* Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) dan Hidrogeologi Daerah Penelitian

permukiman, industri, ekonomi dan lain sebagainya. Dengan adanya peningkatan lahan terbangun juga akan meningkatkan kebutuhan akan air bersih untuk menunjang aktivitas masyarakat sehari-hari di sekitar pesisir pantai Pasar Bawah. Di daerah penelitian juga berkembang sektor pariwisata, menurut terdapat 127 hotel di Kecamatan Pasar Manna dan 109 hotel di Kecamatan Kota Manna, dengan jumlah hotel tersebut maka pemakaian air tanah akan semakin bertambah, hal tersebut tidak menutup kemungkinan akan terjadinya eksploitasi air tanah secara berlebihan akibat adanya *over pumping* sehingga muka air tanah (MAT) pada daerah sekitar pesisir mengalami penurunan (*drawdown*) (Ariyanto & Mardiyanto, 2016). Penurunan muka air tanah (MAT) mengakibatkan permukaan air laut lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan air tanah sehingga menyebabkan air laut yang mengandung unsur garam seperti klorida (Cl) merembes ke dalam air tanah, hal tersebut ditandai dengan tingkat salinitas atau kadar garam di daerah sekitar pesisir pantai dengan tutupan lahan tinggi memiliki nilai yang tinggi.

Dilakukan *overlay* Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) dan hidrogeologi daerah penelitian untuk melihat keterkaitan antara tutupan lahan terbangun dan penyusun litologi akuifer pada daerah penelitian terhadap nilai DHL, salinitas dan TDS. Titik pengamatan 9 yang memiliki nilai DHL maksimal sebesar $281\mu\text{S}/\text{cm}$, tingkat salinitas tertinggi sebesar 42.6 ppm dan tingkat TDS tertinggi dengan nilai 100,1 mg/l terletak di daerah dengan indeks tutupan lahan terbangun tinggi dan tersusun oleh akuifer produktivitas sedang yang memiliki permeabilitas dan porositas sedang – tinggi, dengan jenis porositas dan permeabilitas tersebut maka apabila terjadi penurunan muka air tanah (MAT) akibat *overpumping* dan permukaan air laut lebih tinggi dari muka air tanah, air laut akan lebih mudah masuk melalui celah atau pori akuifer sehingga mempengaruhi nilai DHL, salinitas dan TDS air tanah. Sebaliknya titik pengamatan 5 yang memiliki nilai DHL minimal sebesar $115\mu\text{S}/\text{cm}$, tingkat salinitas terendah sebesar 17.3 ppm dan tingkat TDS terendah dengan nilai 45 mg/l terletak di daerah dengan indeks tutupan lahan terbangun rendah dan tersusun oleh akuifer produktivitas kecil yang umumnya memiliki porositas dan permeabilitas buruk sehingga debit mata air kecil dan menyebabkan air laut yang akan masuk ke akuifer menjadi terhambat sehingga pencemaran air tanah akibat intrusi air laut rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Karakteristik intrusi air laut pada daerah Kecamatan Pasar Bawah, Bengkulu Selatan diidentifikasi berdasarkan parameter hidrokimia berupa daya hantar listrik (*Electrical Conductivity*, salinitas dan TDS (*Total Dissolved Solids*) yang kemudian digabungkan dengan pendekatan penginderaan jarak jauh yaitu penggunaan data citra satelit berupa *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI). Pada distribusi NDBI didapatkan terdapat

daerah dengan tutupan lahan terbangun yang tinggi dimana pada daerah tersebut memiliki nilai DHL, salinitas dan TDS yang tinggi yaitu pada titik pengamatan 9. Pada daerah dengan tutupan lahan terbangun rendah memiliki nilai EC, salinitas dan TDS yang rendah yaitu pada titik pengamatan 5. Dapat disimpulkan terdapat korelasi antara aktivitas antropogenik seperti peningkatan pembangunan rumah masyarakat di sekitar pesisir pantai, kemudian pembangunan taman sebagai sektor wisata dan sektor ekonomi masyarakat terhadap intrusi air laut.

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui karakteristik intrusi air laut dengan mempertimbangkan metode pengambilan data sampel di lapangan dan kondisi iklim, kedalaman tanah, teknik pengambilan sampel dan alat yang digunakan. Selain itu, diperlukan adanya survei geofisika untuk mengetahui susunan akuifer dari sistem air tanah pada daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada masyarakat di Kecamatan Pasar Manna dan sekitarnya atas kerja samanya dalam penelitian ini serta rekan pemetaan Bengkulu Selatan yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.

DAFTAR ACUAN

- Abdalla, F., 2015. Ionic ratios as tracers to assess seawater intrusion and to identify salinity sources in Jazan coastal aquifer, Saudi Arabia. *Saudi Society for Geosciences 2015*.
- Arfah, M., Tanjung, M., Syahreza, S., & Hartati, D., 2021. Analysis of seawater intrusion into groundwater in the coastal area of Durung Village, Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Ariyanto, G., & Mardiyanto, M. A., 2016. Kondisi intrusi air laut terhadap kondisi kualitas air tanah di Kota Surabaya. *Jurnal Purifikasi*, Vol. 16, No. 2.
- Aryasetya, B., 2017. Identifikasi intrusi air laut pada air tanah menggunakan metode induced polarization : studi kasus daerah Surabaya Timur. *Jurusan Teknik Geofisika*.
- Astuti, A. D., (014). Irrigation water quality parameters based on DHL, TDS, pH in paddy fields of Bulumanis Kidul Village Margoyoso Subdistrict. *Jurnal Litbang*, Vol. X, No.1 : 35-42.
- Badan Pusat Statistik., 2023. Kabupaten Bengkulu Selatan dalam angka.
- Cahyadi, A., Adji, T. N., Marfai, M. A., Noviandaru, S., & Agniy, R. F., 2017. Analisis dampak intrusi air laut terhadap air tanah di Pulau Koran Pramuka, DKI Jakarta. *Majalah Geografi Indonesia*, 61-66.

- Guha, S., 2016. Capability of NDVI technique in detecting mangrove vegetation. *International Journal of Advanced Biological Research*, VOL. 6(2) 2016: 253-258.
- Halder, B., & Bandyopadhyay, J., 2022. Delineation of geospatial indices based water bodies' and vegetation change mapping using Sentinel-2 imagery in Canning blocks of south 24 parganas district, India. *Remote Sensing Applications : Society and Environment*.
- Herlambang, A., & Indriatmoko, R. H., 2005. Pengelolaan air tanah dan intrusi air laut. *Jurnal Air Indonesia*.
- Kshetri, B. T., 2022. NDVI, NDBI AND NDWI calculation using landsat 7 and 8. *Geomatics for Sustainable Development*, Volume II.
- Lioumbas, J., Christodoulou, A., Katsiapi, M., Xanthopoulou, N., Stournara, P., Spahos, T., dkk., 2023. Satellite remote sensing to improve source water quality monitoring: A water utility's perspective. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*.
- Nurmaladewi, Saktiansyah, L. A., Jayadisastra, Y., Sulfitriana, A., Mikarna, S. K., & Okto, A., 2023. Assessing seawater intrusion and chloride zones in residents' wells in selected coastal area of Indonesia: A GIS analysis. *Public Health of Indonesia*.
- Setiadi, H., & Yudhanagara, D., 2011. Peta hidrogeologi lembar Manna Enggano.
- Sultana, S., & A.N.V, S., 2020. Assessment of urbanisation and urban heat island intensities using landsat imageries during 2000 – 2018 over a sub-tropical Indian City. *Sustainable Cities and Society* , Volume 52.
- Ulfa, A., Hilmi, A., Wijaya, A., & Hadimi, L., 2020. Study of seawater intrusion in coastal aquifer using total dissolved solid, conductivity and salinity measurement in Labuhan Kertasari Village, West Sumbawa. *Journal of Physics: Conference Series* . United States Geological Survey., 2023, Oktober 10.
- Wilopo, W., Risanti, Susatio, R., & Eka Putra, D. P., 2021. Seawater intrusion assessment and prediction of sea-freshwater interface in Parangtritis coastal aquifer, South of Yogyakarta Special Province, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 2709-2718.
- Yolanda, Y., Mawardin, A., Komarudin, N., & Risqita, E., 2023. Hubungan antara salinitas, PH, dan TDS di Sungai Brang Biji Sumbawa. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, Vol. 11, No. 2.
- Zamroni, A., Sugarbo, O., Trisnaning, & Prasetya., 2020. Seawater intrusion prone areas around Yogyakarta International Airport: a geological approach. *International Conference on Agriculture, Environment and Food Security*, 782 (2021) 022006.

ANALISIS DATA BATIMETRI MENGGUNAKAN CITRA SATELIT SENTINEL-2 (STUDI KASUS: PULAU PUTRI, BATAM)

BATHYMETRY DATA ANALYSIS USING SENTINEL-2 SATELLITE IMAGERY (CASE STUDY: PUTRI ISLAND, BATAM)

Pandu Akhbar Antares Arisanto^{1*}, Ankiq Taofiqurohman¹, Nineu Yayu Gerhaneu²,
Alexander M. A. Khan¹, Subiyanto¹

¹ Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

² Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung

*Email: : pandu18001@mail.unpad.ac.id

Diterima : 17-08-2023, Disetujui : 11-06-2024

ABSTRAK

Data batimetri secara konvensional umumnya diperoleh dengan menggunakan teknik *echosounding* yakni dengan instrumen *echosounder*. Sejumlah masalah atau hambatan dari metode tersebut diantaranya biaya operasional yang mahal, perolehan data tidak multi temporal, kecuali dengan pengukuran ulang. Perkembangan teknologi memungkinkan metode pengukuran batimetri menjadi semakin beragam, salah satu metode alternatifnya adalah menggunakan metode penginderaan jauh dengan memanfaatkan citra satelit atau biasa disebut *sattelite derived bathymetry (SDB)*. Lokasi penelitian ini berada di Pulau Putri Batam yang dilakukan untuk mengkaji perbandingan data batimetri yang dihasilkan dari citra Sentinel-2 dengan beberapa citra yang diambil pada tanggal berbeda, dengan data pengukuran *in situ*. Nilai kedalaman dikaji menggunakan metode *band ratio* dengan memanfaatkan *band* biru dan hijau. Hasil kedalaman dari Sentinel-2 kemudian dibandingkan berdasarkan nilai *Root Mean Square Error (RMSE)*, koefisien determinasi (R^2), dan *Total Vertical Uncertainty (TVU)*. Hasil penelitian ini menunjukkan citra bulan Januari merupakan citra terbaik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Hasil *RMSE* menunjukkan semakin tinggi tingkat kesalahan seiring bertambahnya kedalaman. Nilai *RMSE* pada kedalaman 0 - 30 meter berkisar antara 0,1 - 0,3 meter. Sedangkan pada kedalaman lebih dari 30 meter nilai *RMSE* bertambah dari 1 - 3 meter. Kualitas SDB dapat diidentifikasi berdasarkan nilai TVU. Berdasarkan analisis pada 8479 titik data insitu masing-masing hanya 645, 318, dan 179 titik data yang terklasifikasi dalam Ordo 2, Ordo 1, dan Ordo spesial.

Kata kunci: Batimetri, *Band ratio*, Sentinel-2, Pulau Putri, Citra satelit

ABSTRACT

Conventional bathymetry data is generally obtained using echo-sounding techniques, namely with an echosounder instrument. A number of problems or obstacles to this method include expensive operational costs, data acquisition is not multi-temporal, except by repeated measurements. Technological developments allow bathymetry measurement methods to become increasingly diverse, one alternative method is to use remote sensing methods using satellite imagery or what is usually called satellite derived bathymetry (SDB). The location of this research was on Putri Island, Batam, which conducted to examine the comparison of bathymetric data produced from Sentinel-2 imagery with several images taken on different dates, with in situ measurement data. The depth value was studied using the band ratio method using the blue and green bands. The depth results from Sentinel-2 were then compared based on the Root Mean Square Error (RMSE), coefficient of determination (R^2), and Total Vertical Uncertainty (TVU) values. The results of this research show that the January image is the best image with a coefficient of determination value of 0.372. The RMSE results show that the error rate increases as the depth increases. The RMSE value at a depth of 0 - 30 meters ranges from 0.1 - 0.3 meters. Meanwhile, at depths of more than 30 meters, the RMSE value increases from 1 - 3 meters. SDB quality can be identified based on the TVU value. Based on analysis of 8479 in situ data points, only 645, 318, and 179 data points were classified in Order 2, Order 1, and Special Order, respectively.

Keyword: Bathymetry, Band ratio, Sentinel-2, Putri Island, Satellite Imagery

PENDAHULUAN

Republik Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak potensi dan sumber daya di bidang kelautan. Untuk mendukung potensi tersebut, data batimetri atau data kedalaman merupakan salah satu data yang diperlukan untuk mendukung pembangunan, penelitian, dan perkembangan di bidang kelautan. Perolehan data batimetri memiliki banyak macam metode dan pengukurannya. Secara konvensional perolehan data batimetri biasanya menggunakan teknik *echo-sounding* yakni dengan instrumen *singlebeam echosounder* dan juga *multibeam echosounder*. Salah satu masalah atau hambatan dari metode konvensional adalah biaya yang mahal, yang mengharuskan pengulangan dan juga pengukuran berulang-ulang di area yang akan disurvei. Wilayah yang memiliki perairan dangkal, wilayah terpencil, muara, wilayah yang memiliki gelombang tinggi, dan wilayah yang sulit untuk dilewati oleh kapal survei juga menjadi hambatan dalam melakukan pengukuran menggunakan *echosounder*. Selain membutuhkan waktu dan biaya yang lama, faktor keselamatan juga menjadi salah satu aspek yang diperhitungkan dalam melakukan survei hidrografi (Ashphaq dkk., 2021)

Dengan luasnya wilayah laut di Indonesia dan juga keterbatasan waktu dan biaya, sulit rasanya untuk melakukan pengukuran dengan metode konvensional untuk seluruh wilayah laut Indonesia. Hal tersebut mengakibatkan kebutuhan akan informasi data batimetri yang *up-to-date* belum sesuai harapan. Contoh kasus yang terjadi pada tahun 2017, sebuah kapal *cruise merchant vessel* Caledonian Sky kandas di perairan Raja Ampat

mengakibatkan sekitar 1600 m² terumbu karang menjadi rusak. Kandasnya kapal tersebut dikarenakan kurangnya informasi kedalaman di daerah tersebut (Wibisono dkk., 2021)

Seiring perkembangan teknologi, metode pengukuran batimetri juga semakin beragam, seperti LIDAR (*Light Detection and Ranging*), ROV (*Remotely Operated Vehicles*) dan juga AUV (*Autonomous Underwater Vehicles*). Alternatif lainnya adalah dengan memanfaatkan penginderaan jauh atau *remote sensing* dengan menggunakan citra satelit beresolusi menengah sampai dengan resolusi sangat tinggi. Terdapat dua kategori pendekatan atau algoritma yang biasanya digunakan dalam pengukuran batimetri menggunakan citra satelit, yakni pendekatan secara empiris dan fisika (*physics-based*). Pendekatan empiris didasarkan pada hubungan statistik antara data kedalaman yang sudah diketahui dan pengukuran reflektansi pada satu atau beberapa *band* (Stumpf dkk., 2003). Pendekatan ini memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik pada spektrum biru dan hijau (0,48 – 0,60 μm) yang memiliki kemampuan penetrasi yang kuat dalam air. Ketika energi radiasi tersebut masuk merambat (*transmitted*) ke dalam air, sebagian akan terserap (*absorbed*) oleh sifat fisik air dan sisanya yang mencapai dasar air akan dipantulkan kembali (*reflected*). Energi reflektansi tersebut yang ditangkap dan direkam oleh sensor satelit dapat mengindikasikan kedalaman air (Jawak dkk., 2015).

Keunggulan dari penggunaan *remote sensing* untuk pengukuran batimetri diantaranya tidak memakan waktu yang lama dan juga tidak perlu memerlukan biaya yang banyak (Smith & Sandwell, 2004). Cakupan pengukuran

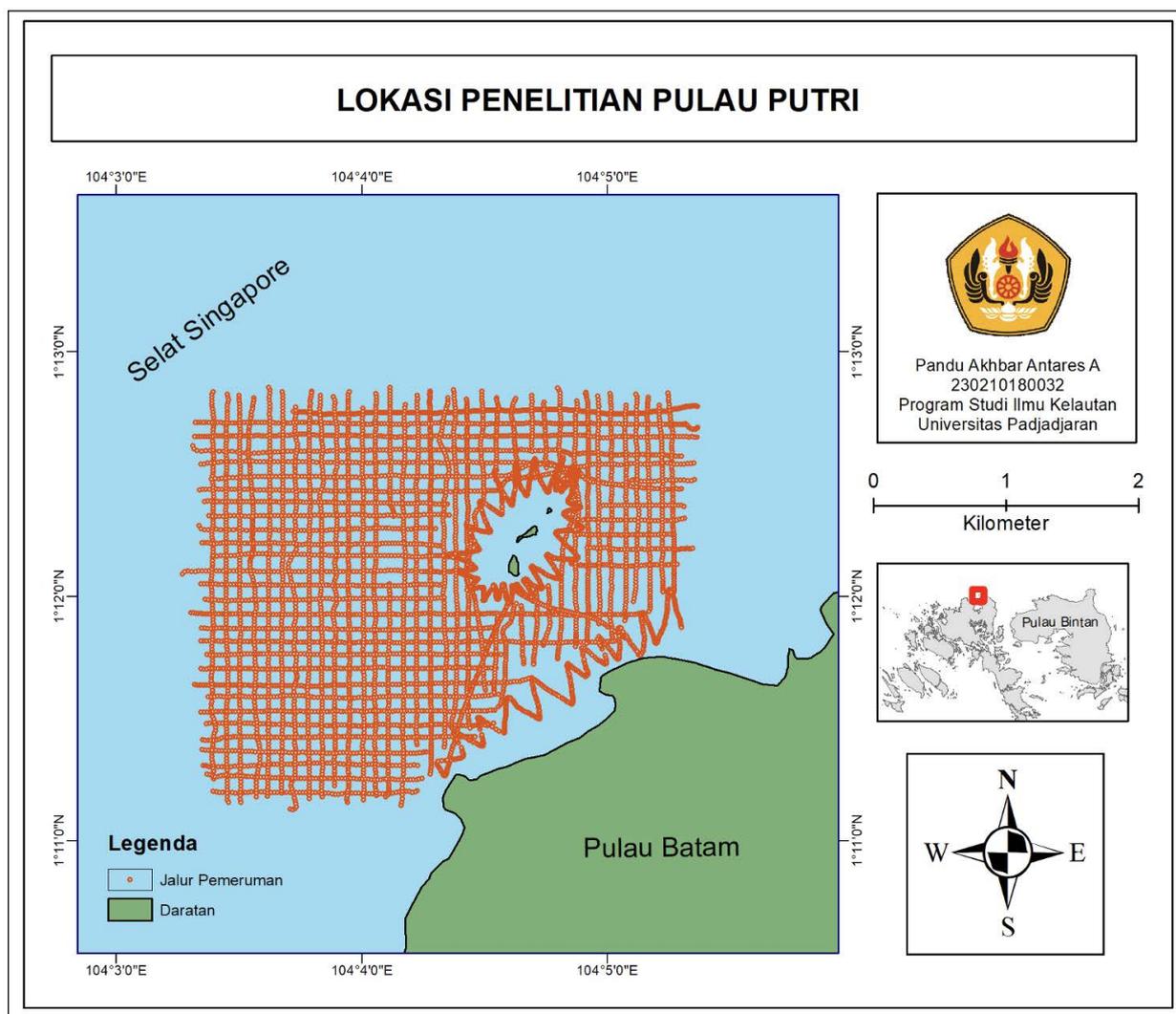
batimetri pun tidak terbatas selama kondisi di lokasi tersebut memenuhi persyaratan untuk dilakukan pengukuran seperti berada di perairan dangkal, tidak ada gangguan awan, turbiditas perairan yang rendah, tidak tercemar, dan lain-lain (IHO & IOC, 2018). Cerdeira-Estrada dkk (2012) menggunakan citra *WorldView-2* untuk memetakan batimetri dan habitat bentik di Mexican Caribbean. Sedangkan (Rahman, 2020) menggunakan citra Sentinel-2A untuk memetakan kedalaman perairan dangkal yang ada di Taman Nasional Perairan Karimun Jawa. (Manessa dkk., 2018) memanfaatkan citra SPOT 6 dengan tiga *band* tampak untuk memetakan kedalaman di dua tempat yakni Pulau Gili Mantra dan juga Pulau Menjangan. Namun perlu diingat bahwa penggunaan penginderaan jauh juga memiliki keterbatasannya tersendiri seperti tingkat akurasi dan tidak dapat digunakan diperairan dalam.

Dengan mempertimbangkan keterbatasan dan juga kekurangan dari pengukuran batimetri secara konvensional, pada penelitian ini dilakukan perolehan data batimetri menggunakan teknologi penginderaan jauh menggunakan citra satelit beresolusi menengah yakni Sentinel-2 dan juga membandingkannya dengan hasil data

batimetri secara konvensional. Keunggulan dari citra tersebut dapat digunakan secara gratis dengan resolusi sebesar 10 meter dan sudah digunakan dalam beberapa penelitian terdahulu serta menunjukkan tingkat akurasi yang beragam (Bobsaid & Jaelani, 2017; Caballero & Stumpf, 2019; Casal dkk., 2019; Meliala dkk., 2019). Dalam pemanfaatan batimetri dari citra Sentinel-2 dapat dimanfaatkan dalam pemetaan pelabuhan (Mateo-Pérez dkk., 2020), danau (Yunus dkk., 2019) hingga habitat bentik dan terumbu karang (Hedley dkk., 2018). Tujuan dari penelitian ini untuk menghitung nilai perbedaan batimetri antara data *in situ* dan data hasil pengolahan citra Sentinel-2 dan mengidentifikasi pola distribusi batimetri hasil pengolahan citra satelit.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli - Agustus 2022 di Pulau Putri, Nongsa, Batam, Kepulauan Riau. Luasan daerah penelitian disesuaikan dengan data batimetri pengukuran *in situ* yang dimiliki sehingga data citra disesuaikan dengan titik pemeruman batimetri. Peta lokasi dan titik koordinat penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini merupakan perangkat lunak (*software*) untuk pengolahan dan analisis data. Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

Tabel 1. Alat dan kegunaan

No.	Alat	Kegunaan
1.	Software SNAP	Mengolah data citra Sentinel-2
2.	Software ArcGIS	Mengolah data citra dan batimetri
3.	Software Microsoft Excel	Analisis data
4.	Software Surfer	Pembuatan kontur

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari data batimetri hasil pengukuran *in situ* yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) pada tanggal 14 – 28 Mei 2014 dan juga citra satelit Sentinel-2 yang diunduh dari [website https://scihub.copernicus.eu](https://scihub.copernicus.eu). Citra satelit Sentinel-2 memiliki resolusi spasial antara 10 - 60 meter bergantung pada *band* yang digunakan. Pada penelitian ini, *band 2* (biru) dan *band 3* (hijau) digunakan dalam teknik *band-ratio* (formula 3), *band* tampak (2, 3, dan 4) digunakan dalam proses koreksi *sun-glint* (formula 2), sedangkan *band 8* juga digunakan untuk memisahkan bagian daratan dan lautan (formula 1). Sedangkan resolusi temporal adalah lama waktu yang dibutuhkan satelit untuk kembali ke posisi semula untuk merekam citra di bumi. Lamanya waktu yang dibutuhkan Sentinel-2 untuk kembali ke posisi yang sama adalah lima hari.

Untuk mengakuisisi data batimetri menggunakan citra satelit, tentunya bergantung pada kualitas citra yang didapatkan. Casal dkk (2019) menggunakan enam citra Sentinel-2 untuk merepresentasikan kondisi citra yang berbeda (pasang surut, turbiditas, perbedaan *sun glint*). Kemudian penelitian Casal dkk (2020) pada tahun 2020 menggunakan sebanyak empat citra yang berulang pada area penelitiannya. Sedangkan Poursanidis dkk (2019) hanya menggunakan satu citra yang terbaik di wilayah penelitiannya. Pada penelitian di Pulau Putri, terdapat tiga citra yang diakuisisi yakni pada tanggal 15 April 2021, 21 November 2021 dan 30 Januari 2022 dengan kondisi terbaik yang dapat dilihat pada gambar 2, 3 dan 4.

Pemotongan atau *subset* citra diperlukan agar fokus pemrosesan data hanya pada daerah penelitian (*area of interest*), yang mana dapat memudahkan dalam proses pengolahan data. Untuk memisahkan area daratan dengan lautan, *land-masking* dilakukan dengan membuat nilai daratan menjadi nol dan nilai lautan menjadi satu, sehingga proses hanya terfokus pada daerah perairan. Pada proses *land-masking* ini menggunakan metode NDWI (*Normalized Difference Wetness Index*) (Gao, 1996) dengan *band NIR* (*Near Infra Red*) atau B8 dan *band* merah atau B3 (formula 1):

$$NDWI = \frac{(B3-B8)}{(B3+B8)} \quad (1)$$

Pada penelitian ini dilakukan koreksi *sun glint* (*deglint*) dengan menggunakan metode (Hedley dkk., 2005) yang menjelaskan hubungan linear antara *band*

NIR dan juga *band* tampak (*visible band*) menggunakan regresi linear berdasarkan sampel piksel citra. Berikut merupakan perhitungan yang dideskripsikan oleh Hedley (formula 2).

$$R'_i = R_i - b_i (R_{NIR} - Min_{NIR}) \quad (2)$$

dengan :

R'_i = Piksel yang sudah melakukan proses *deglint*

R_i = Reflektansi dari *band* tampak (*visible band*)

b_i = Kemiringan regresi

R_{NIR} = Value *band* NIR

Min_{NIR} = Value minimum *band* NIR

Untuk pengestimasi kedalaman, pada penelitian ini menggunakan model yang dikembangkan oleh Stumpf dkk pada tahun 2003 berdasarkan prinsip bahwa setiap *band* memiliki perbedaan tingkat absorpsi pada air dan secara teoritis nantinya akan diperoleh perbedaan rasio di tiap *band*-nya (Stumpf dkk., 2003). Rasio ini kemudian akan terus berubah juga seiring berubahnya kedalaman (formula 3).

$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (3)$$

dengan:

Z: Kedalaman yang diestimasi

m_1, m_0 : Konstanta model

$R_w(\lambda_{i,j})$: Reflektansi *band* i dan j

n: Konstanta tetap agar logaritma tetap positif

Teknik *band ratio* ini telah terbukti lebih kuat dan dapat menginterpretasi kedalaman hingga 25 meter dan menunjukkan hasil yang stabil dengan tingkat kesalahan RMSE 30% pada kedalaman 25 meter (Ashphaq dkk., 2021). Teknik ini juga menunjukkan estimasi kedalaman yang lebih akurat untuk perairan dangkal dengan reflektansi yang rendah dan juga area benthik yang lebih dalam jika dibandingkan dengan model derivasi yang lain (Said dkk., 2017).

Uji Perbandingan Data

RMSE

Merupakan metode pengukuran dengan mengukur perbedaan nilai dari prediksi sebuah model sebagai estimasi atas nilai yang diobservasi (formula 4).

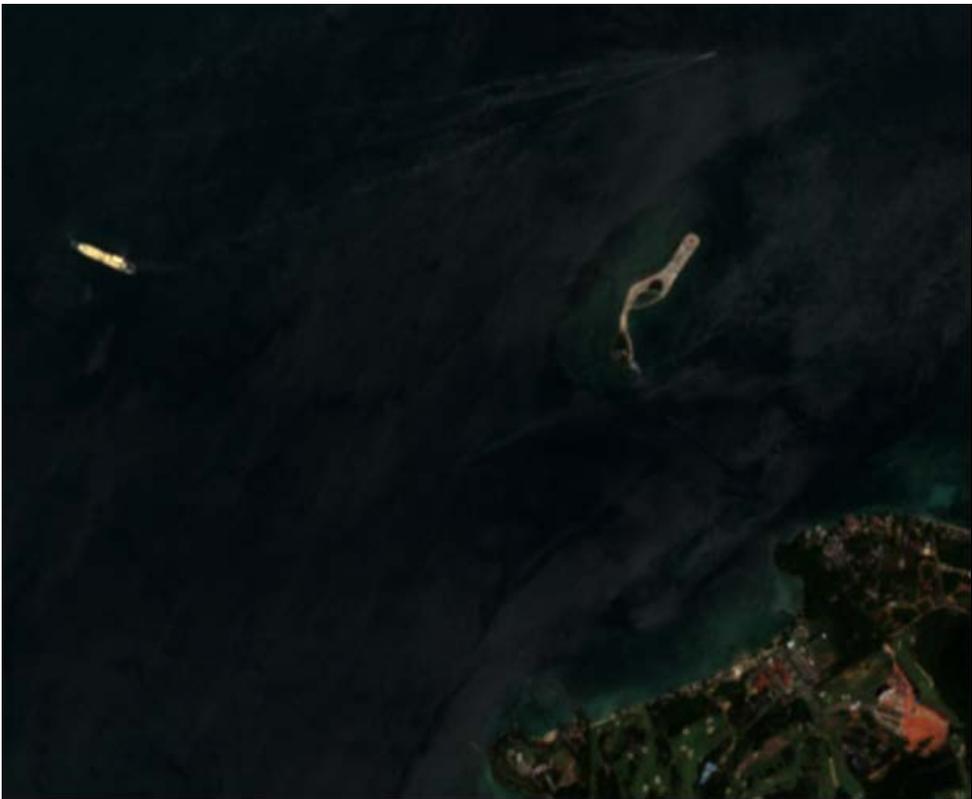
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_j - \hat{y})^2}{n}} \quad (4)$$

dengan:

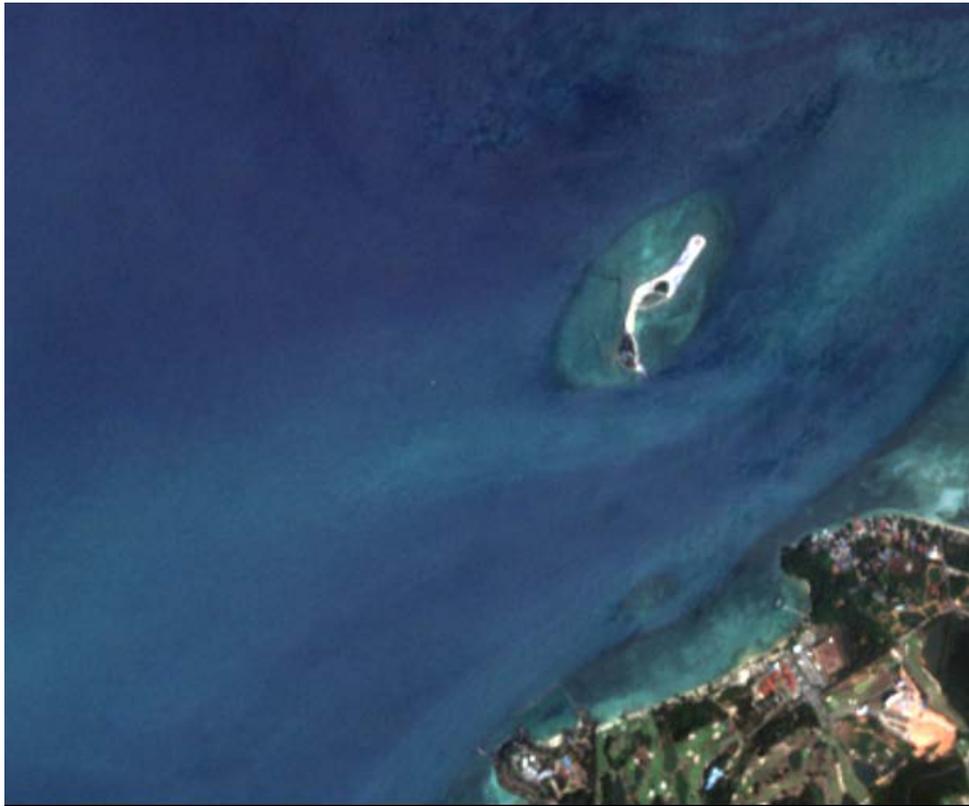
y_j : Kedalaman hasil SDB



Gambar 2. Citra 15 April 2021



Gambar 3. Citra 21 November



Gambar 4. Citra 30 Januari 2022

y : Kedalaman referensi
 n : Jumlah sampel

TVU

Total Vertically Uncertainty merupakan aturan baku yang dibuat oleh *International Hydrographic Organization* (IHO) untuk menentukan ketelitian survei hidrografi. Penelitian terdahulu (Ramadhan dkk., 2021; Said dkk., 2017; Wright dkk., 2016) juga menggunakan TVU untuk mendeskripsikan kualitas dari hasil data model batimetri untuk dibandingkan dengan data *in situ*. Berdasarkan publikasi IHO No. 44 (2008), nilai TVU dideskripsikan sesuai dengan formula (5).

$$TVU = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (5)$$

Tabel 2. Nilai koefisien dan konstanta ordo TVU

	Ordo Spesial	Ordo 1A	Ordo 1B	Ordo 2
Konstanta	$a = 0.25 \text{ m}$	$a = 0.5 \text{ m}$	$a = 0.5 \text{ m}$	$a = 1 \text{ m}$
$a \text{ dan } b$	$b = 0.0075$	$b = 0.0075$	$b = 0.0075$	$b = 0.023$

dengan:

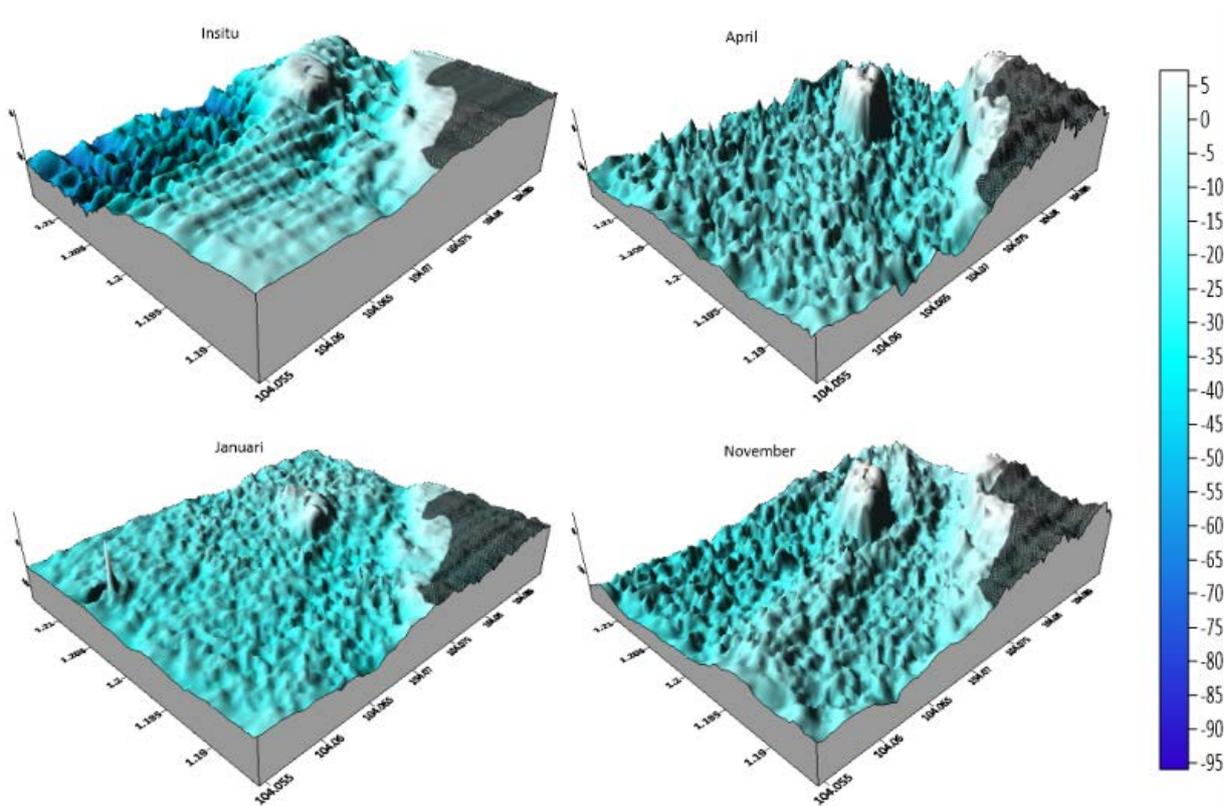
a = koefisien ketidakpastian yang tidak dipengaruhi kedalaman

b = koefisien ketidakpastian yang dipengaruhi kedalaman

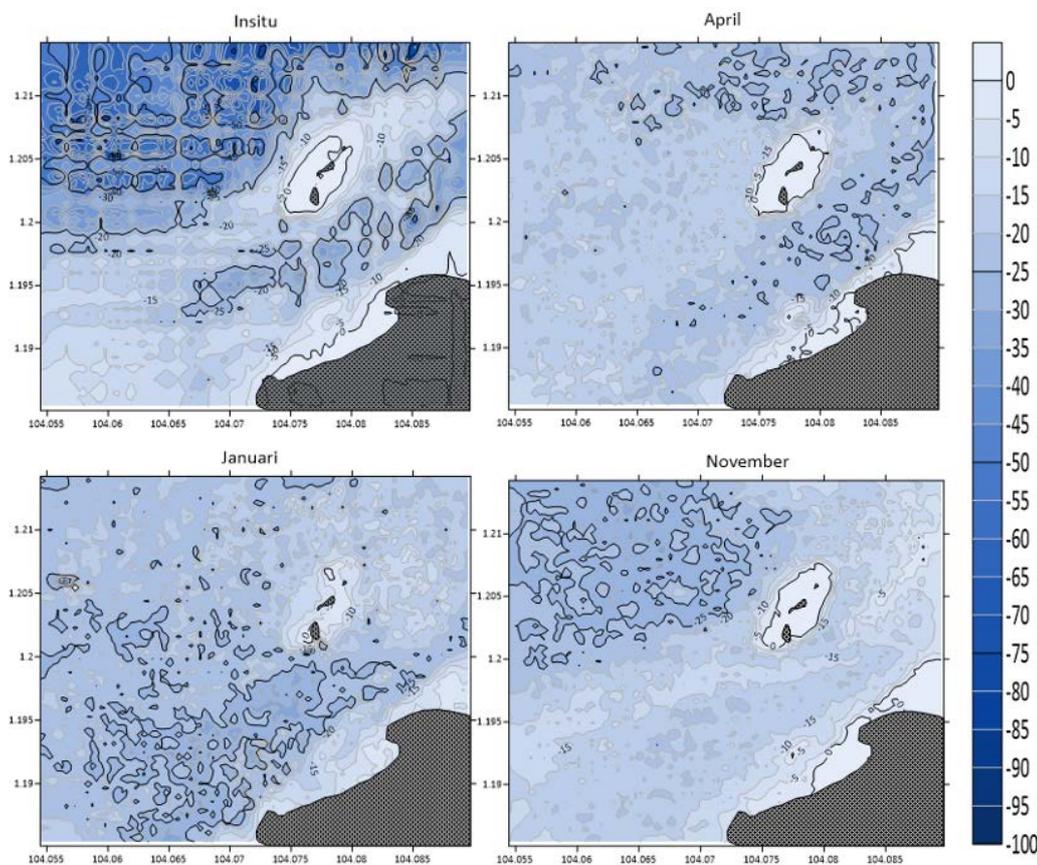
d = kedalaman laut

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil visualisasi data batimetri yang diperoleh dengan menggunakan metode *band ratio* pada citra Sentinel-2 menunjukkan bahwa kedalaman maksimal yang berhasil dipetakan oleh metode ini adalah 40 meter. Hal ini berbeda signifikan jika dibandingkan dengan data batimetri yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan (*in situ*), dimana kedalaman yang tercatat mencapai 90 meter. Perbedaan ini menunjukkan adanya batasan dalam kemampuan pemetaan kedalaman menggunakan citra satelit pada area tertentu. Dari ketiga citra yang digunakan yakni pada tanggal 15 April 2021, 21 November 2021 dan 30 Januari 2022 juga menghasilkan kedalaman batimetri yang berbeda-beda (gambar 5 dan 6). Penginterpretasian pemisahan daratan dengan lautan pada Pulau Putri juga berbeda di setiap citranya. Terdapat beberapa titik data kedalaman hasil SDB yang diinterpretasikan sebagai daratan dengan menganggap bahwa titik tersebut memiliki elevasi diatas 0 meter. Hasil *scatter plot* antara data *in situ* dengan data kedalaman hasil pengolahan citra dapat dilihat pada Gambar 7, 8, dan 9. Titik data kedalaman pengukuran *in situ* bervariasi dari kedalaman 0 - 80 meter, sedangkan hasil pengolahan SDB berkisar kedalaman 0 - 40 meter. Jumlah titik data terbanyak terdapat pada kedalaman 10 - 15 meter yakni sebanyak 1592 titik data. Berdasarkan pengolahan dan hasil visualisasi, data SDB tidak dapat merepresentasikan



Gambar 5. Hasil visualisasi 3 Dimensi data SDB



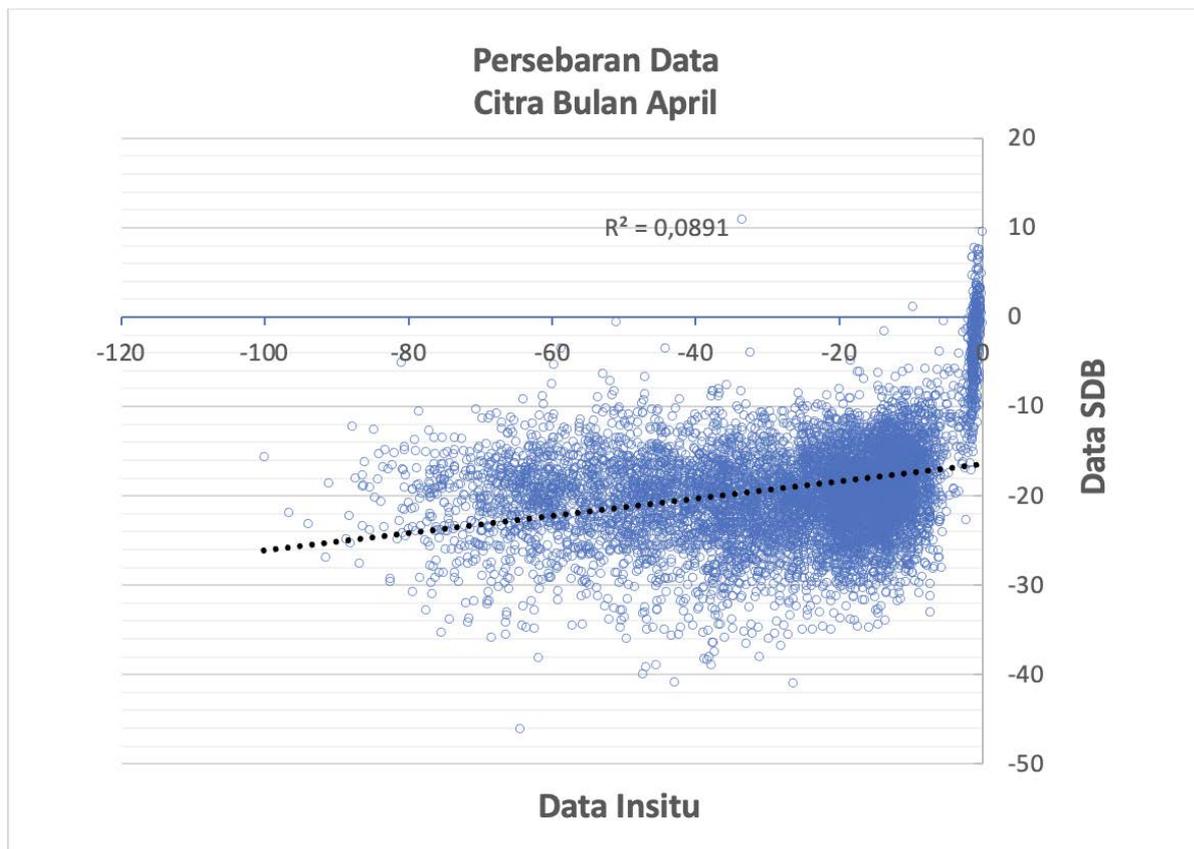
Gambar 6. Hasil visualisasi SDB

kedalaman yang ada di perairan dalam. Semakin dalam perairan tersebut, maka tingkat *error* juga semakin tinggi jika dilihat dari hasil *RMSE*.

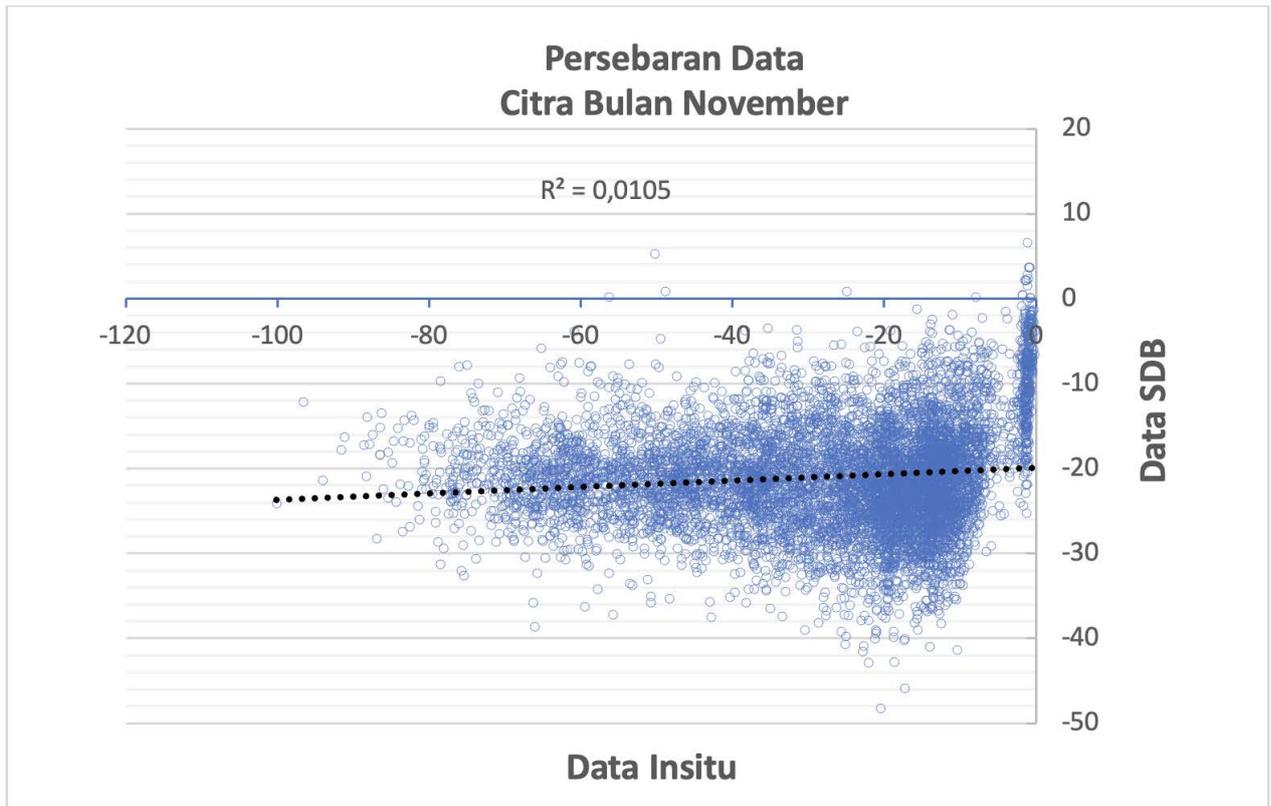
Dari ketiga citra tersebut, citra bulan Januari merupakan citra yang mempunyai hasil interpretasi kedalaman yang lebih baik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Penafsiran kedalaman perairan dalam yang buruk pada hasil SDB tentunya disebabkan oleh keterbatasan penetrasi *band* yang ada pada citra. Cahaya pada spektrum *band* biru hanya dapat berpenetrasi hingga kedalaman 30 meter sedangkan *band* hijau sedalam 15 meter (Meliala dkk., 2019). Perbedaan kondisi citra dan albedo dasar laut juga menyebabkan perbedaan hasil kedalaman SDB. Citra bulan November memiliki penginterpretasian kedalaman yang buruk dari ketiga citra dengan koefisien determinasi hanya sebesar 0,01 dan TVU. Jika dilihat pada akuisisi awal, citra tersebut memiliki kondisi berkabut dibanding citra lainnya dan juga terdapat *noise*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengolahan SDB sangat dipengaruhi oleh kondisi citra.

Perbandingan Data SDB dengan In Situ

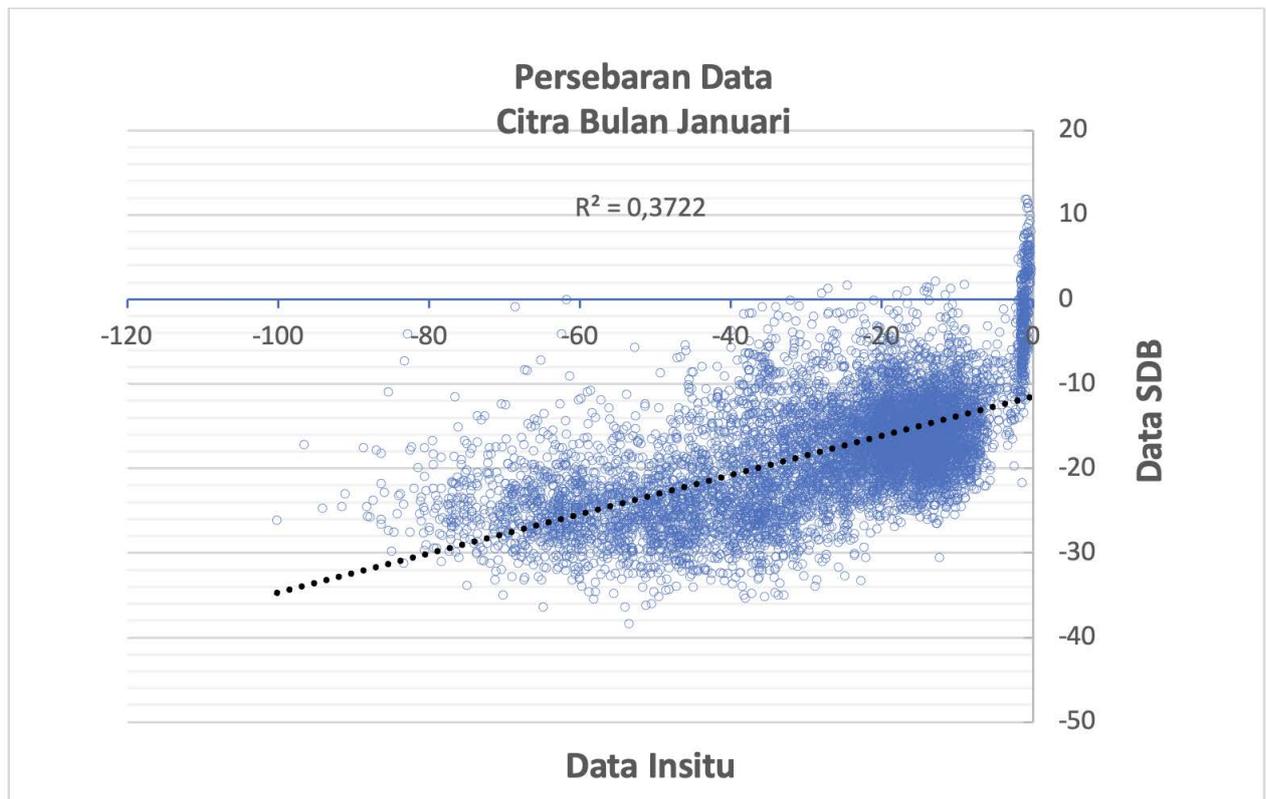
Dari tabel 4 dapat diketahui adanya 8479 titik data kedalaman pengukuran *in situ*, hanya $\pm 7\%$ data hasil SDB terklasifikasi pada kategori Ordo 2, $\pm 3\%$ pada Ordo 1, dan $\pm 2\%$ pada ordo spesial. Berdasarkan hasil tersebut juga dapat dilihat bahwa citra bulan Januari merupakan citra yang lebih baik dibandingkan dengan kedua citra lainnya. Rendahnya nilai titik data yang terklasifikasi menunjukkan data pengolahan SDB pada penelitian ini belum sesuai dengan tingkat standar ketelitian survei hidrografi yang ditetapkan oleh IHO. Mavraeidopoulos dkk (2017) menegaskan bahwa SDB tidak akan menggantikan sistem dan metode survei hidrografi konvensional, tetapi karena merupakan teknologi yang “berbeda”, SDB dapat digunakan sebagai produk pelengkap untuk data survei konvensional, yang memenuhi standar IHO Orde 1a atau 1b. Metode dan visualisasi SDB dengan indikator yang berkualitas merupakan aspek penting dari penggunaan SDB dan interpretasi pengguna terhadap kualitas data batimetri. Dalam keadaan tertentu, teknik SDB juga dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan dan juga bisa digunakan untuk tambahan survei lanjutan.



Gambar 7. *Scatter plot* data SDB dan In situ pada citra bulan April



Gambar 8. *Scatter plot* data SDB dan in situ pada citra bulan



Gambar 9. *Scatter plot* data SDB dan in situ pada citra bulan November November

Tabel 3. Hasil analisis *RMSE* dan *R*²

Citra	<i>Range</i>	<i>RMSE</i>	<i>R</i> ²	N
	Kedalaman			
April	<5	0,205	0,403	466
	5 sd 10	0,104	0,022	545
	10 sd 15	0,315	0,010	1592
	15 sd 20	0,123	0,002	1352
	20 sd 25	0,208	0,002	870
	25 sd 30	0,060	0,002	595
	30 sd 35	0,247	0,003	537
	35 sd 40	0,154	0,001	548
	40 sd 45	1,520	0,007	356
	45 sd 50	1,296	0,000	388
	50 sd 55	1,220	0,003	293
	55 sd 60	2,414	0,023	242
	60 sd 70	1,563	0,006	475
	> 70	2,933	0,009	220
Januari	<5	0,326	0,363	466
	5 sd 10	0,250	0,018	545
	10 sd 15	0,128	0,008	1592
	15 sd 20	0,155	0,001	1352
	20 sd 25	0,166	0,018	870
	25 sd 30	0,276	0,002	595
	30 sd 35	1,158	0,005	537
	35 sd 40	1,125	0,005	548
	40 sd 45	1,523	0,009	356
	45 sd 50	1,693	0,013	388
	50 sd 55	1,384	0,003	293
	55 sd 60	2,094	0,000	242
	60 sd 70	1,735	0,003	475
	> 70	3,124	0,025	220
November	<5	0,637	0,126	466
	5 sd 10	0,100	0,091	545
	10 sd 15	0,069	0,004	1592
	15 sd 20	0,032	0,001	1352
	20 sd 25	0,194	0,002	870
	25 sd 30	0,444	0,004	595
	30 sd 35	0,946	0,003	537
	35 sd 40	0,610	0,000	548
	40 sd 45	0,818	0,000	356
	45 sd 50	1,223	0,004	388
	50 sd 55	1,604	0,000	293
	55 sd 60	2,061	0,006	242
	60 sd 70	2,039	0,001	475
	> 70	3,570	0,000	220

Tabel 4. Hasil pengklasifikasian dan SDB berdasarkan TVU

	TVU (jumlah data yang terpenuhi dari keseluruhan 8479 data in situ)					
	April		Januari		November	
Ordo 2	588	6,9%	645	7,6%	425	5%
Ordo 1	290	3,4%	318	3,8%	199	2,3%
Ordo Spesial	172	2,0%	179	2,1%	100	1,2%

Hasil nilai akurasi berdasarkan nilai determinasi yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki hasil yang berbeda dengan dengan beberapa penelitian lain (Tabel 10.) yang menggunakan metode dan juga citra satelit dengan resolusi spasial yang sama (Sentinel-2). Penelitian yang dilakukan oleh (Gerhaneu & Muji, 2020) di area studi yang sama di Pulau Putri menghasilkan nilai R^2 yang lebih tinggi menggunakan analisis regresi linear berganda dengan metode *best subset regression* dan menggunakan citra Landsat 8 yang seperti diketahui citra tersebut memiliki resolusi yang lebih rendah. Meskipun penelitian tersebut tidak dapat dibandingkan karena perbedaan jumlah titik data yang digunakan untuk validasi, namun demikian penelitian tersebut juga menunjukkan hal yang sama bahwa akurasi pemetaan batimetri pada kedalaman lebih dari 20 meter kurang efektif. Penelitian yang dilakukan oleh (Manessa dkk., 2018) dalam mendapatkan estimasi kedalaman menggunakan Citra SPOT 6 yang beresolusi lebih tinggi (6 meter) dengan metode yang sama (*band ratio*) di Gili Mantra dan Menjangan menunjukkan hasil koefisien determinasi yang serupa yakni masing masing 0,2 dan 0,14 dengan *RMSE* sebesar 2,17 dan 1,37 meter. Penelitian ini juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode yang sama namun di tempat yang berbeda seperti di Dublin Bay (Casal dkk., 2020) dan Gili Iyang (Bobsaid & Jaelani, 2017). Pemilihan citra yang optimal, algoritma yang digunakan serta kondisi perairan sangat penting dalam ekstraksi kedalaman menggunakan citra satelit. Leder dan Duplančić (2020) juga menyatakan bahwa keterbatasan dalam metode SDB berkaitan dengan beberapa faktor penting, diantaranya: resolusi citra satelit; kondisi meteorologi; dan kualitas pantulan kolom air. Keunggulan dari penggunaan citra sentinel-2 dalam penelitian ini yakni tidak membutuhkan biaya atau dapat digunakan secara umum namun sudah mendapatkan citra dengan resolusi skala menengah. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, metode SDB harus digunakan pada citra satelit komersial dengan resolusi citra yang dapat mencapai 0,5 - 0,3 meter.

Kondisi meteorologi di waktu pengambilan citra juga berpengaruh terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Kondisi meteorologi pada saat citra direkam mempengaruhi kualitas citra satelit dan akibatnya sangat penting dalam penggunaan metode SDB. Menurut kondisi meteorologi yang ideal yakni citra diakuisisi pada waktu tengah hari pada hari yang cerah, kering, tanpa awan, dan

tidak adanya polusi. Jika diamati secara visual, citra bulan Januari adalah citra dengan penggambaran yang lebih baik dibandingkan dua citra lainnya dengan kondisi yang cerah dan tidak adanya awan yang mengganggu. Sedangkan, citra bulan November merupakan citra dengan keberadaan awan atau kabut yang paling banyak dibandingkan dua citra lainnya. Berdasarkan hasil analisis akurasi kedalaman juga membuktikan bahwa citra bulan Januari memiliki akurasi yang paling baik.

Dalam mendapatkan nilai kedalaman, metode SDB menggunakan pemodelan dengan memanfaatkan penetrasi cahaya melalui kolom air pada band tampak dan inframerah. Radiasi elektromagnetik diserap dan dihamburkan sambil menyebar melalui air dan sisa energi dihamburkan balik dan direkam di satelit (Stumpf dkk., 2003). Efektivitas metode ini tergantung pada sifat optik air di daerah pesisir, seperti koefisien penyerapan zat tersuspensi dan terlarut, atenuasi, hamburan dan refleksi pantulan dasar laut (Poliyapram dkk., 2017). Secara umum kualitas pantulan radiasi elektromagnetik bergantung pada transparansi kolom air, topografi dan karakteristik sedimentologi dasar laut. Jika dilihat secara visual, citra sentinel-2 yang ada di Pulau Putri memiliki pantulan dasar laut atau albedo yang hanya bervariasi di sekitar pulau dan pesisir Pulau Batam. Penggunaan metode SDB tidak dianjurkan pada perairan pantai dengan pantulan dasar yang lemah dan kekeruhan yang tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini citra Bulan Januari merupakan citra terbaik dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,372. Hasil *RMSE* menunjukkan semakin tinggi tingkat *error* seiring bertambahnya kedalaman. Nilai *RMSE* pada kedalaman 0 - 30 meter berkisar antara 0,1 - 0,3 meter, sedangkan pada kedalaman lebih dari 30 meter nilai *RMSE* bertambah dari 1 - 3 meter. Kualitas SDB juga dapat dilihat dengan melihat apakah data tersebut bisa terklasifikasi berdasarkan TVU. Berdasarkan 8479 titik data *in situ* masing-masing hanya 645, 318, dan 179 titik data yang terklasifikasi dalam Ordo 2, Ordo 1, dan Ordo spesial.

Terdapat perbedaan yang sangat signifikan dari hasil data batimetri pengolahan citra satelit (SDB) dengan menggunakan metode *band ratio*. Hasil data SDB hanya dapat menginterpretasi kedalaman hingga kedalaman maksimum 40 meter, berbeda dengan pengukuran *in situ* yang menunjukkan bahwa perairan Pulau Putri memiliki

Tabel 5. Penelitian terdahulu

Kajian Studi	Citra	Metode	Hasil
Pulau Putri, Kota Batam (penelitian yang dilakukan)	Sentinel 2	Stumpf	$R^2 = 0,372$ $RMSE = 0,3 - 3$ meter TVU: - Order 1b = 3,8 % - Order 2 = 7,6 % - Ordo spesial = 2,1 %
Pulau Putri, Kota Batam (Gerhaneu & Muji, 2020)	Landsat 8	Analisis Regresi	$R^2 = 85,4\%$ pada kedalaman 0-20 m $R^2 = 75\%$ pada kedalaman 0-25 m $R^2 = 49,1\%$ pada kedalaman 0-50 m
Dublin Bay, Ireland (Casal dkk., 2020)	Sentinel 2	-Stumpf -Lyzenga	Stumpf $R^2: 0,27$ $RMSE: 89\%$ Lyzenga $R^2: 0,14$ $RMSE: 88\%$
Bali dan Lombok (Manessa dkk., 2018)	SPOT 6	<i>12 Empirical algorithms</i> (termasuk stumpf)	Stumpf $RMSE: 2,17$ dan $1,37$ $R^2: 0,2$ dan $0,14$
West Palm Beach, South Florida (Caballero & Stumpf, 2019)	Sentinel 2	-Stumpf	MedAE : 0,5 meter (0 sd 18 meter)
Perairan Poteran dan Gili Iyang, Madura (Bobsaid & Jaelani, 2017)	-Landsat 8 -Sentinel 2	Algoritma Van Hengel dan Spitzer	Kedalaman Landsat 8 = 12,056 meter Sentinel = 11,149 meter Korelasi (R^2) Landsat 8 = 0,102 Sentinel = 0,008 NMAE (%) Landsat 8 = 25,777 Sentinel = 26,877 $RMSE:$ Stumpf = 1,624 Lyzenga = 1,915
Eastern Sabah Security Zone, Malaysia (Said dkk., 2017)	-Pleiades	-Stumpf -Lyzenga	TVU: Stumpf - Order 1b = 29,6 % - Order 2 = 46,7 % Lyzenga - Order 1b = 24,9 % - Order 2 = 39 %
Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia (Meliala dkk., 2019)	Sentinel 2	-Stumpf -Analytical approach	Kedua metode dapat menghasilkan kedalaman hingga 10 meter. Pada kedalaman lebih dari 15 meter $RMSE$ sebesar 4 meter. Kedua $R^2 = 0,7$

kedalaman hingga 80 meter. Keterbatasan penetrasi cahaya pada spektrum *band* citra satelit menyebabkan penafsiran yang buruk terhadap kedalaman perairan. *Band* biru hanya mampu menembus hingga kedalaman 30 meter, sementara *band* hijau hanya sampai 15 meter. Perbedaan kondisi ketiga citra Sentinel-2 yang dipilih juga memengaruhi kualitas kedalaman yang dihasilkan.

Pengaplikasian SDB sebaiknya hanya digunakan pada perairan dangkal. Pemilihan citra sangat berpengaruh dalam mendapatkan nilai kedalaman, sehingga harus memilih citra yang terbaik untuk mendapatkan hasil yang memuaskan. Pengaplikasian SDB dapat menggunakan metode atau algoritma lainnya dan juga menggunakan citra dengan resolusi yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) serta kepada seluruh anggota tim penelitian Pulau Putri, Nongsa, Batam atas sumber data lapangan yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Ashphaq, M., Srivastava, P. K., & Mitra, D. 2021. Review of near-shore satellite derived bathymetry: Classification and account of five decades of coastal bathymetry research. *Journal of Ocean Engineering and Science*, 6(4), 340–359. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2021.02.006>
- Bobsaid, M. W., & Jaelani, L. M. 2017. Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus : Perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura). *Institut Teknologi Sepuluh Noverber*.
- Caballero, I., & Stumpf, R. P. 2019. Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106277>
- Casal, G., Harris, P., Monteys, X., Hedley, J., Cahalane, C., & McCarthy, T. 2020. Understanding satellite-derived bathymetry using Sentinel 2 imagery and spatial prediction models. *GIScience & Remote Sensing*, 57(3), 271–286. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1685198>
- Casal, G., Monteys, X., Hedley, J., Harris, P., Cahalane, C., & McCarthy, T. 2019. Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(8), 2855–2879. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1533660>
- Cerdeira-Estrada, S., Heege, T., Kolb, M., Ohlendorf, S., Uribe, A., Muller, A., Garza, R., Ressler, R., Aguirre, R., Marino, I., Silva, R., & Martell, R. 2012. Benthic habitat and bathymetry mapping of shallow waters in Puerto morelos reefs using remote sensing with a physics based data processing. *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4383–4386. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6350402>
- Gao, B. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Gerhaneu, N. Y & Muji, T. 2020. Analisis Kanal-Kanal Landsat 8 Oli untuk Pemetaan Batimetri di Sekitar Pulau Putri, Kota Batam. *Jurnal Geologi Kelautan*. 18. 10.32693/jgk.18.1.2020.648.
- Hedley, J. D., Harborne, A. R., & Mumby, P. J. 2005. Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10), 2107–2112. <https://doi.org/10.1080/01431160500034086>
- Hedley, J. D., Roelfsema, C., Brando, V., Giardino, C., Kutser, T., Phinn, S., Mumby, P. J., Barrilero, O., Laporte, J., & Koetz, B. 2018. Coral reef applications of Sentinel-2: Coverage, characteristics, bathymetry and benthic mapping with comparison to Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 216, 598–614. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.014>
- IHO & IOC. 2018. The IHO-IOC GEBCO Cook Book. Monaco: IHO.
- IHO. 2008. IHO Standards For Hydrographic Surveys 5 th Edition.
- Jawak, S. D., Vadlamani, S. S., & Luis, A. J. 2015. A synoptic review on deriving bathymetry information using remote sensing technologies: models, methods and comparisons. *Advances in remote Sensing*, 4(2), 147–162.
- Leder, T. D., & Duplančić Leder, T. 2020. Optimal Conditions for Satellite Derived Bathymetry (SDB)—Case Study of the Adriatic Sea. *Proceedings of the FIG Working Week, Amsterdam, The Netherlands*, 10–14.
- Manessa, M. D. M., Haidar, M., Hartuti, M., & Kresnawati, D. K. 2018. Determination of The Best Methodology for Bathymetry Mapping Using Spot 6 Imagery: A Study Of 12 Empirical Algorithms. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(2), 127. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2017.v14.a2827>
- Mateo-Pérez, V., Corral-Bobadilla, M., Ortega-Fernández, F., & Vergara-González, E. P. 2020. Port Bathymetry Mapping Using Support Vector

- Machine Technique and Sentinel-2 Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 12(13), 2069. <https://doi.org/10.3390/rs12132069>
- Mavraeidopoulos, A. K., Pallikaris, A., & Oikonomou, E. 2017. Satellite Derived Bathymetry (SDB) and Safety of Navigation. *The International Hydrographic Review*, 17.
- Meliala, L., Wibowo, W. A., & Amalia, J. 2019. Satellite Derived Bathymetry on Shallow Reef Platform: A Preliminary Result from Semak Daun, Seribu Islands, Java Sea, Indonesia. *KnE Engineering*. <https://doi.org/10.18502/keg.v4i3.5849>
- Poliyapram, V., Raghavan, V., Metz, M., Delucchi, L., & Masumoto, S. 2017. Implementation of Algorithm for Satellite-Derived Bathymetry using Open Source GIS and Evaluation for Tsunami Simulation. *ISPRS International Journal of Geo-information*, 6(3), 89.
- Poursanidis, D., Traganos, D., Chrysoulakis, N., & Reinartz, P. 2019. Cubesats Allow High Spatiotemporal Estimates of Satellite-Derived Bathymetry. *Remote Sensing*, 11(11), 1299. <https://doi.org/10.3390/rs11111299>
- Rahman, A. 2020. Depth Estimation Of Shallow Water Using Multispectral Satellite Imagery Sentinel-2a. *Jurnal Segara*, 16(3). <https://doi.org/10.15578/segara.v16i3.8562>
- Ramadhan L, M., Sasmito, B., & Hadi, F. 2021. Analisis Pengaruh Nilai Kekeruhan Air Terhadap Akurasi Satellite Derived Bathymetry Dengan Algoritma Stumpf (Studi Kasus: Pantai Kartini, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 10, no. 2, pp. 36-46, (Issue 10). <https://doi.org/10.14710/jgundip.2021.30642>
- Said, N. M., Mahmud, M. R., & Hasan, R. C. 2017. Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assessment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W5, 159–164. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W5-159-2017>
- Smith, W., & Sandwell, D. 2004. Conventional Bathymetry, Bathymetry from Space, and Geodetic Altimetry. *Oceanography*, 17(1), 8–23. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2004.63>
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. 2003. Determination of Water Depth with High-Resolution Satellite Imagery Over Variable Bottom Types. *Limnology and Oceanography*, 48(1part2), 547–556. https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.1_part_2.0547
- Wibisono, F. B., Ibrahim, A. L., & Hartuti, M. 2021. Perolehan Data Batimetri Menggunakan Metode Satellite Derived Bathymetry untuk Percepatan Pembuatan Electronic Navigational Chart di Perairan Raja Ampat: Acquisition of The Bathymetry Data using Satellite Derived Bathymetry Method to Accelerate The Making of Electronic Navigational Chart in Raja Ampat Waters. *Jurnal Hidropilar*, 7(1), 31–60. <https://doi.org/10.37875/hidropilar.v7i1.202>
- Wright, C. W., Kranenburg, C., Battista, T. A., & Parrish, C. 2016. Depth calibration and validation of the experimental advanced airborne research lidar, EAARL-B. *Journal of Coastal Research*, 76(sp1), 4–17. <https://doi.org/10.2112/SI76-002>
- Yunus, A. P., Dou, J., Song, X., & Avtar, R. 2019. Improved Bathymetric Mapping of Coastal and Lake Environments Using Sentinel-2 and Landsat-8 Images. *Sensors*, 19(12), 2788. <https://doi.org/10.3390/s19122788>

SEBARAN SATUAN SEDIMEN KUARTER DI PERAIRAN RUPAT TIMUR, RIAU, BERDASARKAN DATA SEISMIK PANTUL DANGKAL

THE DISTRIBUTION OF QUATERNARY SEDIMENT IN THE EAST RUPAT WATERS, RIAU, BASED ON SHALLOW SEISMIC DATA

Agus Setyanto*, Muhammad Zulfikar, Shazka Ramadhan Zulivandama, Deny Setiady dan Irwan Hidayat Suherman

Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung

*Email: agussetyanto17081965@gmail.com

Diterima : 17-08-2023, Disetujui : 11-06-2024

ABSTRAK

Penelitian keberadaan sebaran sedimen pasir laut dilakukan di daerah Perairan timur Pulau Rupat, Kabupaten Bengkalis, Kepulauan Riau. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan pasir laut dengan mempertimbangkan karakter, volume dan kandungan pasir silika pada endapan dasar laut berdasarkan pola seismik refleksi. Metode penelitian yang digunakan adalah seismik pantul dangkal saluran tunggal (*single channel*) dengan menggunakan sumber gelombang suara *Boomer*, dengan energi sebesar 600 *Joule*. Berdasarkan pola reflektornya unit fasies seismik dibagi menjadi 3 unit yaitu: unit 1, unit 2 dan unit 3. Unit 1 diduga merupakan sedimen paling muda (sedimen *resen*) dengan fraksi pasir hingga fraksi halus (lumpur) dan bersifat relatif melampar karena tingkat sedimentasinya yang relatif seragam. Ketebalan unit 1 ini secara umum memperlihatkan ketebalan antara 0-48 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 30-36 meter dan menunjukkan adanya perubahan ketebalan yang signifikan pada beberapa lokasi. Unit 2 merupakan unit yang diendapkan di bawah unit 1 dengan pola reflektor yang memperlihatkan *subparallel-chaotic* dan sebagian menunjukkan fitur *acoustic blank*, dominan kontinuitas reflektornya sedang-rendah. Tetapi, pada sebagian tempat yang ditemukan fitur *acoustic blank* terjadi diskontinuiti. Amplitudo reflektor pada unit ini bersifat sedang-rendah. Pola ketebalan sedimen unit 2 secara umum memperlihatkan ketebalan antara 2-58 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 28-32 meter.

Kata kunci: Sedimen pasir laut, sedimen kuartar, isopah, seismik pantul dangkal, Pulau Rupat

ABSTRACT

Research on the distribution of marine sand sediments was carried out in the eastern waters of Rupat Island, Bengkalis Regency, Riau Islands. The aim of this research is to determine the presence of sea sand by considering the character, volume and content of silica sand in seabed deposits based on reflection seismic patterns. The research method used is single channel shallow reflection seismic using a Boomer sound wave source, with an energy of 600 Joules. Based on the reflector pattern, the seismic facies unit is divided into 3 units, namely: unit 1, unit 2 and unit 3. Unit 1 is thought to be the youngest sediment (recent sediment) with a sand to fine fraction (mud) and is relatively flat due to its relatively low sedimentation level. The thickness of unit 1 generally shows a thickness of between 0 - 48 meters with a dominant thickness of around 30 - 36 meters and shows significant changes in thickness at several locations. Unit 2 is a unit deposited below unit 1 with a reflector pattern that shows subparallel-chaotic and some of it shows acoustic blank features, the dominant reflector continuity is medium-low. However, in some places where the acoustic blank feature was found, discontinuities occurred. The reflector amplitude on this unit is medium-low. The thickness pattern of unit 2 sediments generally shows a thickness of between 2 - 58 meters with a dominant thickness of around 28 - 32 meters.

Keyword: *Sea sand sediment, quaternary sediment, isopach, shallow seismic reflection, Rupat Islands*

PENDAHULUAN

Lokasi daerah penyelidikan berada di Perairan timur Pulau Rupat dan sekitarnya, Kecamatan Rupat Timur, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Daerah penyelidikan termasuk kedalam Peta Geologi Bersistem Lembar Dumai dan Bagan Siapiapi 0817 dan 0818. Secara administratif kawasan perairan P. Rupat adalah bagian dari Propinsi Riau. Penelitian lapangan telah dilaksanakan pada bulan Februari– Maret 2023. Daerah penelitian berada di kawasan pesisir P. Rupat bagian timur, Kep. Riau. Secara geografis terletak pada posisi 101°47'30"-101°57'30" BT dan 1°47'30"-1°55'00" LU (Gambar 1).

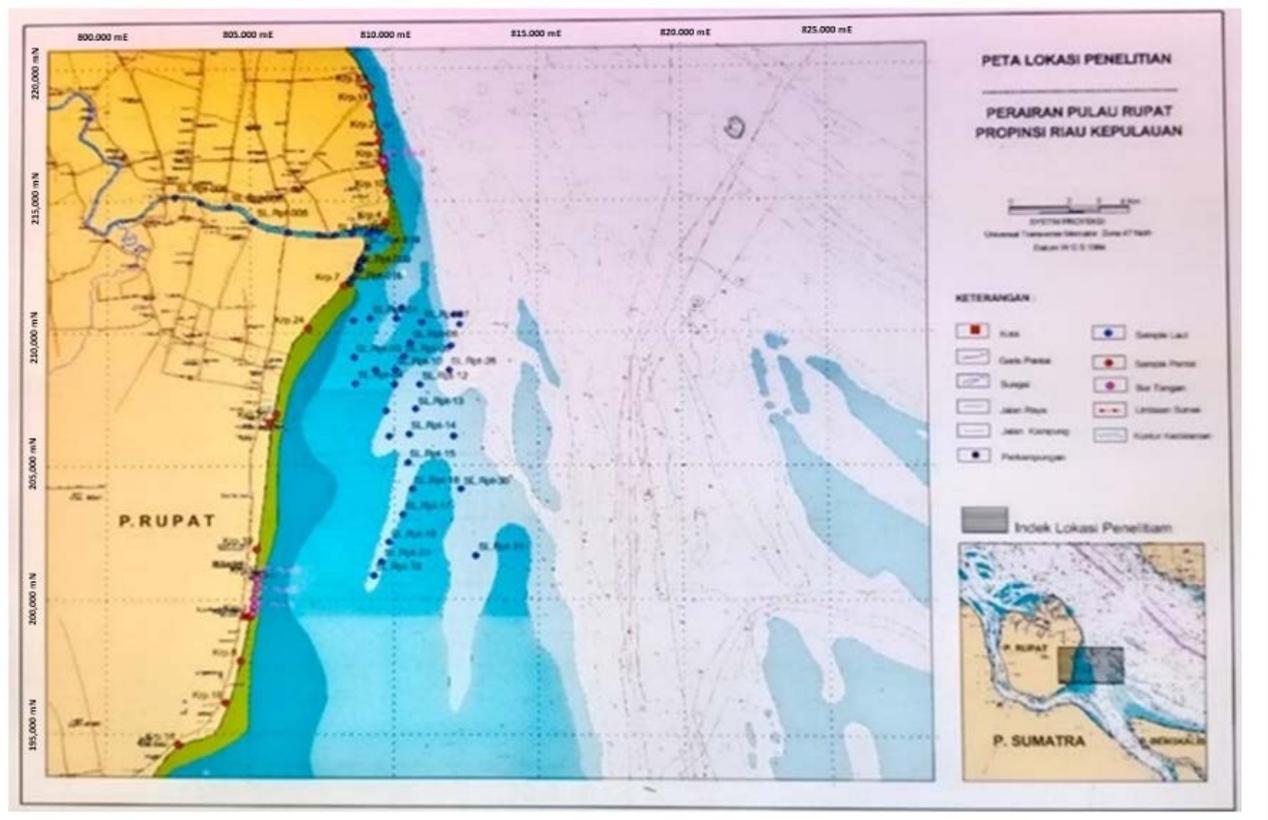
Kegiatan penelitian yang dilakukan, dimaksudkan untuk memperoleh data dan informasi terkait sebaran kandungan mineral kuarsa pada sedimen bawah permukaan laut wilayah Perairan Rupat Timur dan Sekitarnya.

Sumber daya mineral di pantai dan dasar laut di wilayah perairan akhir-akhir ini menjadi suatu alternatif pilihan yang menjanjikan mengingat makin terbatasnya cadangan dan sumber daya mineral di daratan. Komoditas pasir kuarsa menguntungkan secara bisnis, juga strategis, baik secara geoekonomi dan geopolitik. Indonesia memiliki cadangan pasir kuarsa cukup banyak yang berada di banyak lokasi, mulai dari Kalimantan, Sumatera, sampai pulau Bangka, khususnya di Rupat Timur. Indonesia memiliki total sumber daya pasir kuarsa sebesar 2,1 miliar ton dan total cadangan sebesar 332 juta ton (Kementerian ESDM, 2020).

Selama ini mineral kuarsa (pasir silika) belum tergarap secara optimal. Penyelidikan dibatasi untuk mengetahui gambaran geologi permukaan dan bawah permukaan, khususnya keterdapatannya mineral kuarsa secara lateral dan vertikal. Kegiatan Penyelidikan Prospeksi Pasir Silika di Perairan timur Pulau Rupat,

Kabupaten Bengkalis, Kepulauan Riau perlu dilakukan agar dapat mengetahui sebaran lateral dan horizontal pada daerah penyelidikan. Sumber daya mineral merupakan endapan mineral atau batuan yang diharapkan dapat dimanfaatkan secara nyata (Sutardji, 2009). Dimana Sumber daya mineral dengan tingkat ketelitian geologi yang baik dapat menjadikannya sumberdaya cadangan setelah dilakukan studi kelayakan tambang serta memenuhi beberapa kriteria kelayakan tambang. Sumber daya mineral memberikan manfaat bagi kemaslahatan kehidupan. Sumber daya mineral pasir kuarsa memegang peranan cukup penting bagi dunia perindustrian, baik sebagai bahan baku maupun bahan yang sudah jadi (Sukandarrumidi, 2004). Beberapa contoh bahan baku utama, pasir kuarsa dipakai oleh industri kaca, semen, botol-botolan, dan bahan pecah-belah. Sedangkan beberapa contoh bahan baku penolong dipakai dalam pengecoran logam serta industri-industri lainnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Pusat Pengembangan Teknologi Mineral menunjukkan pasir kuarsa meningkat signifikan sekitar lebih dari 28 % per tahunnya. Adapun pasir kuarsa merupakan sumber daya mineral yang terdiri atas kristal-kristal silika (SiO₂) yang mengandung senyawa kotor selama proses pengendapan (Arifin, et. al., 1997). Secara umum, senyawa pengotor tersebut mengandung oksida besi, oksida kalsium, lempung, dan oksida alkali. Dimana membentuk hexagonal dengan komposisi kimia SiO₂ lebih dari 50%.

Cadangan mineral merupakan bagian dari sumberdaya mineral terukur dan/atau tertunjuk yang dapat ditambang secara ekonomis. Hal ini termasuk tambahan material dilusi ataupun material hilang, yang kemungkinan terjadi ketika material tersebut ditambang. Pada klasifikasi ini pengkajian dan studi yang tepat harus sudah dilakukan, termasuk pertimbangan modifikasi dari asumsi yang realistis atas faktor-faktor yang terkait atasnya (SNI, 2011).



Gambar 1. Daerah Lokasi Penyelidikan (Setyanto., drr, 2023)

Silika adalah senyawa kimia dengan rumus molekul SiO_2 (*Silikon Dioksida*) yang dapat diperoleh dari silika mineral, nabati, dan sintesis kristal (Bragmann and Goncalves, 2006; Della et al, 2002). Salah satu senyawa silika mineral yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku silikon untuk pembuatan panel surya yaitu kuarsa. Pasir kuarsa merupakan salah satu material cerdas yang dapat ditingkatkan dengan melakukan pemurnian dan diubah menjadi ukuran < 100 nm yang disebut dengan nanomaterial oksida.

Berdasarkan uraian diatas, potensi pasir kuarsa yang merupakan sumber daya lokal yang dimiliki oleh daerah ini belum diketahui sebaran sedimen secara vertikal dan horizontal. Oleh karena itu perlu dilakukan penyelidikan dengan menggunakan metoda seismik refleksi.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah seismik pantul dangkal saluran tunggal dengan sumber suara *Boomer* sebesar 600 *Joule*. Untuk penentuan posisi digunakan GPS *Trimble BX 992*, dan GPS *Hemisphere*.

Cara kerja seismik pantul dangkal saluran tunggal, yaitu menggunakan perekaman gelombang akustik aktif. Sumber gelombang suaranya yang ditimbulkan oleh perangkat *Boomer/Sparker* yang dikirim ke bawah permukaan laut dengan energi sebesar 600 *Joule*, menembus lapisan sedimen di bawah permukaan. Sebagian dari gelombang akan dipantulkan kembali ke permukaan, sebagian lainnya menembus lapisan sedimen/batuan dan memantul, semua gelombang pantul yang

kembali ke permukaan, diterima oleh *hydrophone*. *Boomer/Sparker* dan *hydrophone* dipasang sejajar (interval 3 m) di buritan kapal survei, dengan jarak ke belakang 30 meter. Sinyal yang ditangkap oleh *hydrophone* disimpan dan dapat dilihat pada monitor laptop dalam bentuk digital *format segy* dengan menggunakan perangkat lunak *SonarWiz*.

Perangkat seismik ini dilengkapi oleh penguat pulsa (*time varied gain*) dan penyaring gangguan sinyal baik dari gerakan *hydrophone* atau gelombang permukaan (*swell filter*), sehingga rekaman seismik yang diperoleh telah meminimalisasi gangguan sinyal tersebut.

Seluruh kegiatan akuisisi atau perekaman data seismik menggunakan *Boomer* sebagai sumber suaranya, dengan energi sebesar 600 *Joule*. Pengaturan lainnya menggunakan *sweep rate* sebesar 1/5 *sweep/second* (20 *milisecond*), *firing rate* sebesar 800 *milisecond* dan frekuensi sebesar 250-3000 Hz.

Secara umum, pemrosesan dan analisis data rekaman seismik pantul dangkal dibagi menjadi 2 tahapan besar (Puchala, 2005), yaitu pemrosesan data akustik dan analisis/penafsiran data seismik. Pemrosesan data akustik meliputi: *coordinate conversion*, *miss tie analysis*, *offset/layback correction*, dan *bandpass filtering*. Setelah itu, dilakukan proses analisis data lebih lanjut meliputi: penafsiran data seismik (penarikan horizon/batas unit), pembuatan peta ketebalan sedimen (*isopah*), pembuatan peta distribusi lembah/alur purba, dan pembuatan peta kedalaman batuan dasar akustik. Seluruh pemrosesan dan analisis data seismik ini menggunakan bantuan berbagai peranti lunak seperti: *Sonarwiz*, *Seisee* dan *Petrel*. Proses

penafsiran data seismik menggunakan pengamatan terhadap pola reflektor internal maupun eksternal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola arah lintasan survei seismik dan *sounding* secara umum berarah barat – timur dan utara - selatan dengan mempertimbangkan tujuan dari penyelidikan dan target-target yang akan dicapai. Adapun batasan dan ruang lingkup survei yaitu :

Luas Area : ± 24.053 Hektar
Jumlah Lintasan : 15 Lintasan
Panjang Lintasan :232,41 km

Lintasan utama seismik pada lokasi survei diambil tegak lurus terhadap garis pantai dengan arah utara-selatan. Interval antar lintasan ini 2 km sebanyak 3 lintasan (Lintasan RUPAT 01 s.d. Lintasan RUPAT 03) (Gambar 2). Sementara itu, terdapat pula lintasan memotong (*crossline*) yang sejajar dengan garis pantai berarah barat-timur. Interval antar lintasan ini hingga 2 km dengan jumlah lintasan sebanyak 12 lintasan (Lintasan RUPAT 04 s.d. Lintasan RUPAT 15).

Interpretasi Data Seismik

Pelaksanaan akuisisi data dari kegiatan ini menghasilkan 15 lintasan dengan total panjang lintasan 232,41 km. Lintasan seismik pantul dangkal ini relatif berarah utara-selatan dan barat-timur. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan berikut dengan ketebalan unit-unit sedimen pada lokasi survei berdasarkan pola reflektor seismik.

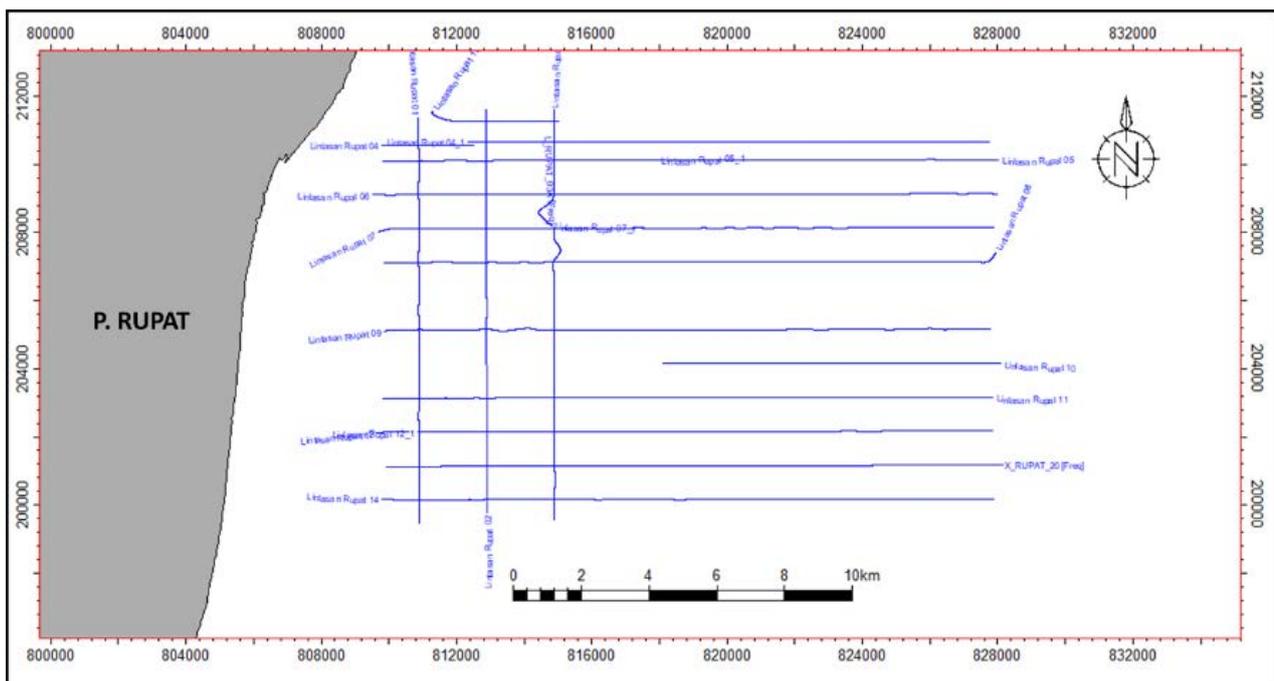
Secara umum penarikan batas-batas pengendapan unit sedimen bawah permukaan (penafsiran horizon

seismik) didasarkan kepada terminasi konfigurasi reflektor berupa *onlap*, *downlap*, *concordant*, *toplap*, maupun erosional *truncation* (Mitchum, drr., 1977; Ringis, 1986; Sangree, drr., 1979). Hasil penafsiran yang menggambarkan pola pengendapan sedimen di bawah permukaan ini diwakili oleh beberapa lintasan representatif.

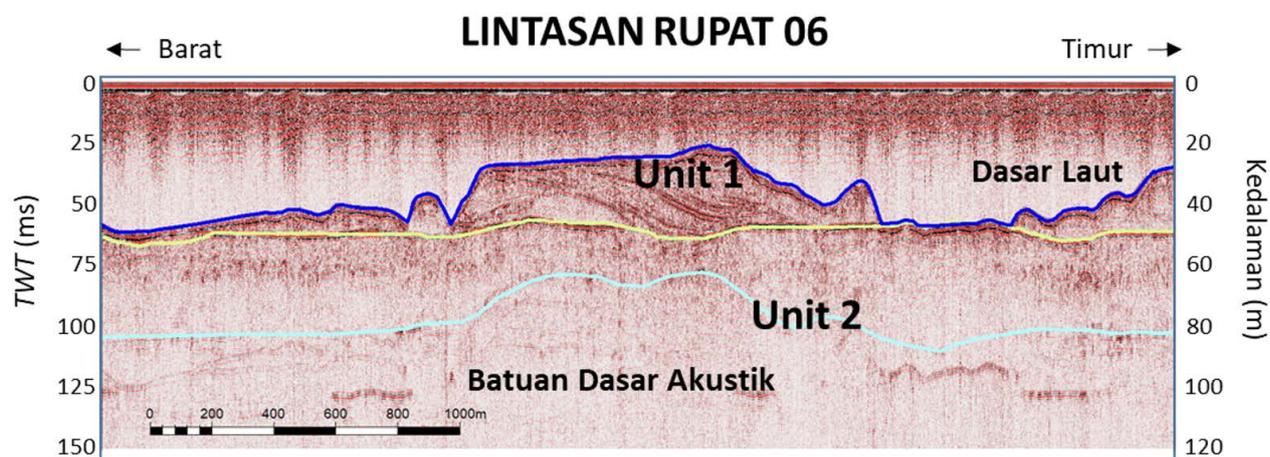
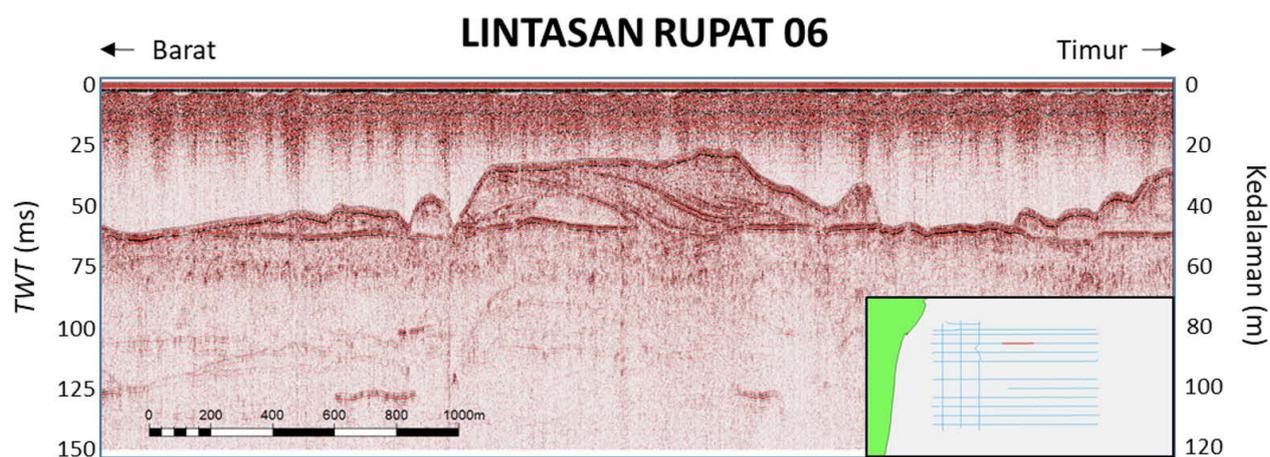
Berdasarkan pola dan konfigurasi reflektornya, lokasi kegiatan dapat dipisahkan dalam 3 (tiga) batas ketidakselarasan/*horizon*, yaitu: (1) *Horizon 1* merupakan dasar laut (*seabed*); (2) *Horizon 2* atau selanjutnya disebut sebagai *bottom unit 1* sekaligus membatasi unit sedimen *resen*; (3) *Horizon 3* atau selanjutnya disebut sebagai *bottom unit 2*/batuan dasar akustik sekaligus membatasi sedimen unit 2. Ketiga *horizon* ini membagi menjadi 2-unit pengendapan yaitu: Unit 1 dan Unit 2, tetapi masing-masing dari kedua unit ini terdapat beberapa sub-unit dengan ketebalan yang cukup variatif dan kemunculannya hanya di beberapa tempat saja. Sehingga, pada kegiatan penyelidikan ini tidak dilakukan interpretasi sub-unit secara detil dan hanya difokuskan pada batas ketidakselarasan yang cenderung regional.

Unit Fasies Seismik

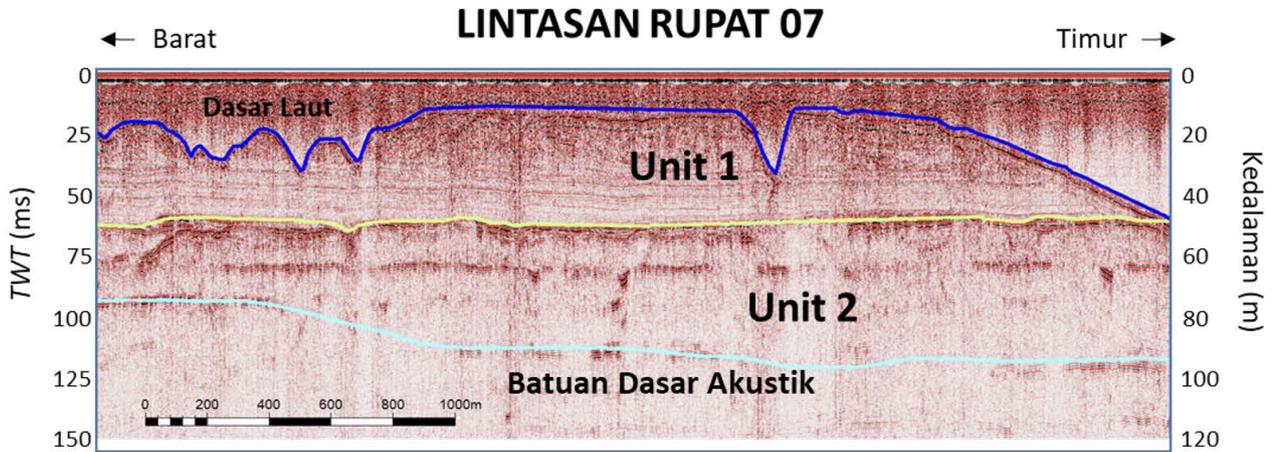
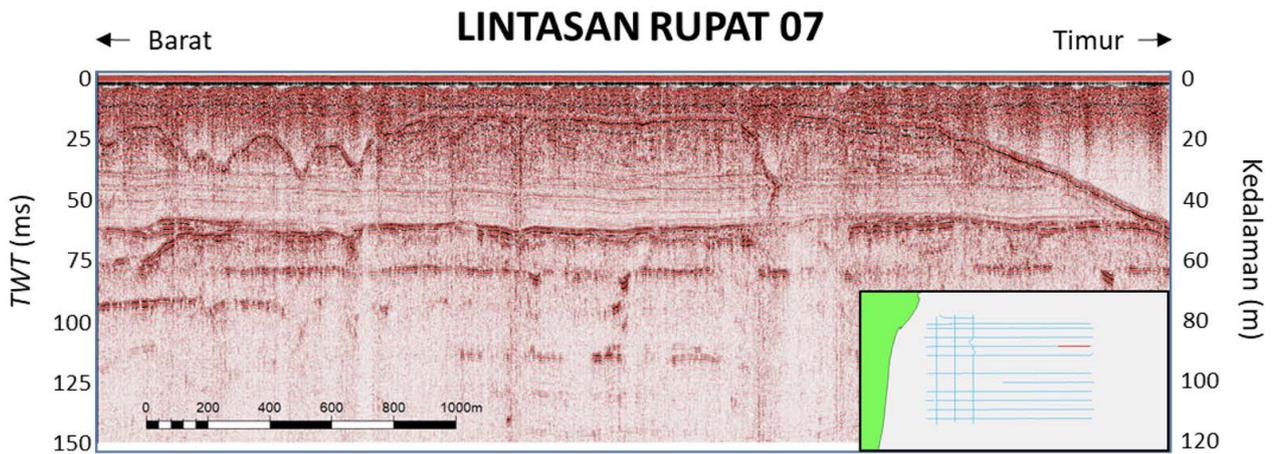
Unit 1 merupakan unit sedimen yang batas atasnya dibatasi oleh dasar laut (*horizon 1*) dan batas bawahnya dibatasi oleh *bottom Unit 1* (*horizon 2*). Unit ini diduga merupakan sedimen laut *resen* yang umumnya dicirikan oleh pola reflektor internal yang memperlihatkan *parallel-subparalel* dan sebagian terdapat *chaotic* dan *acoustic blank*, dominan kontinuitas reflektornya tinggi-sedang tetapi pada sebagian tempat yang ditemukan fitur *acoustic blank* terjadi diskontinuiti, amplitudo reflektor bersifat kuat-sedang (Gambar 3).



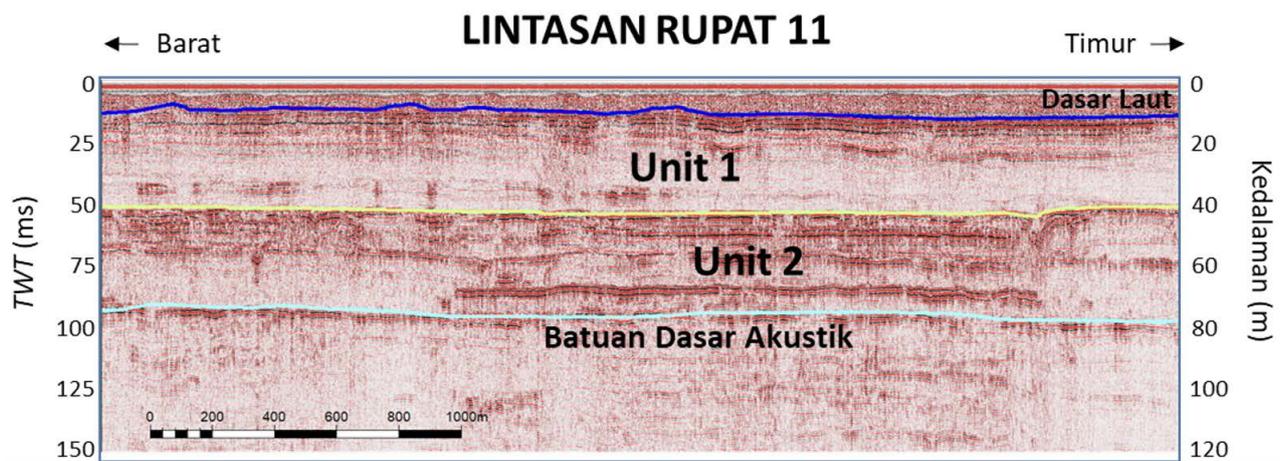
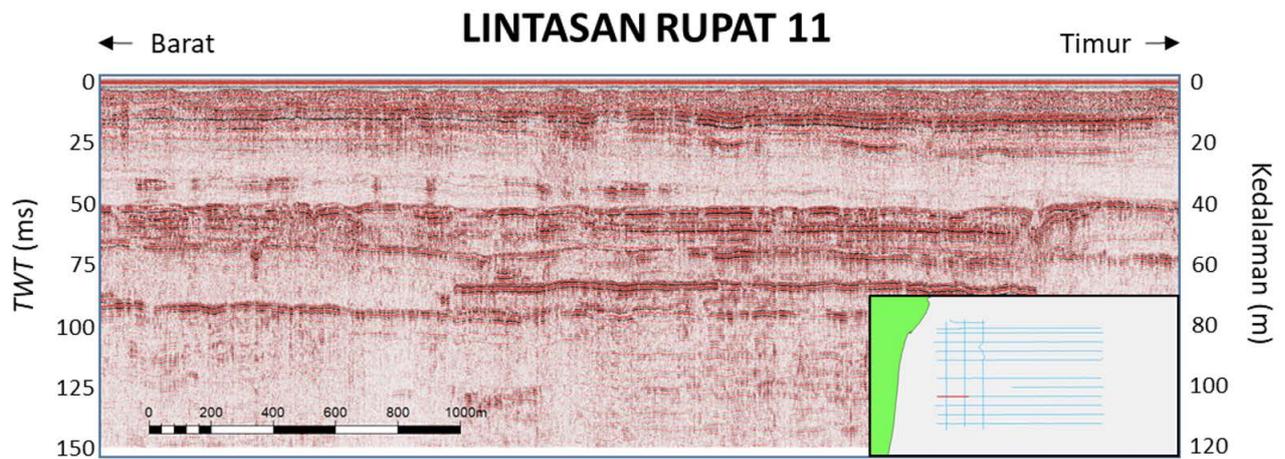
Gambar 2. Peta Lintasan Seismik dan *Sounding* (Setyanto, drr., 2023)



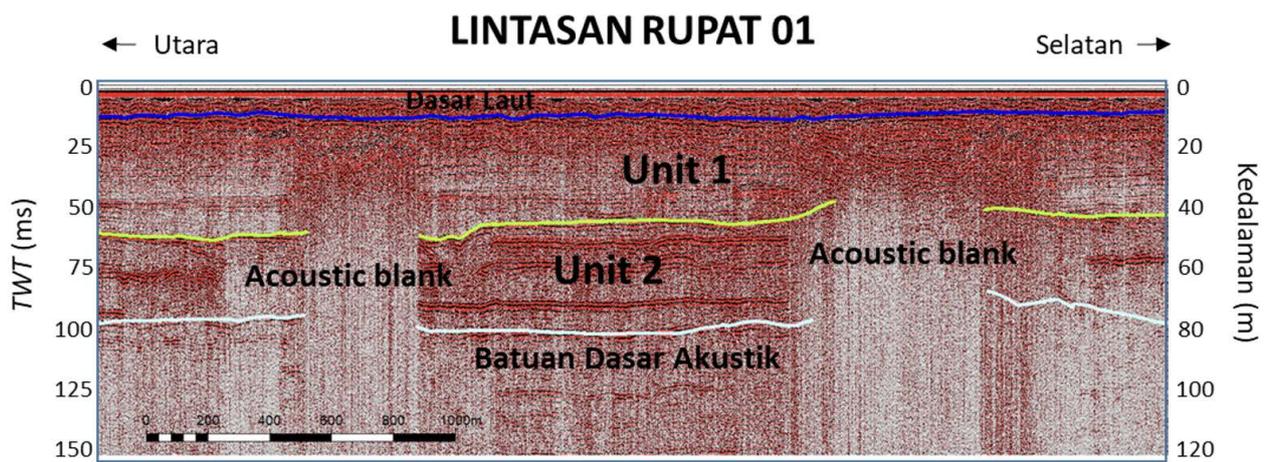
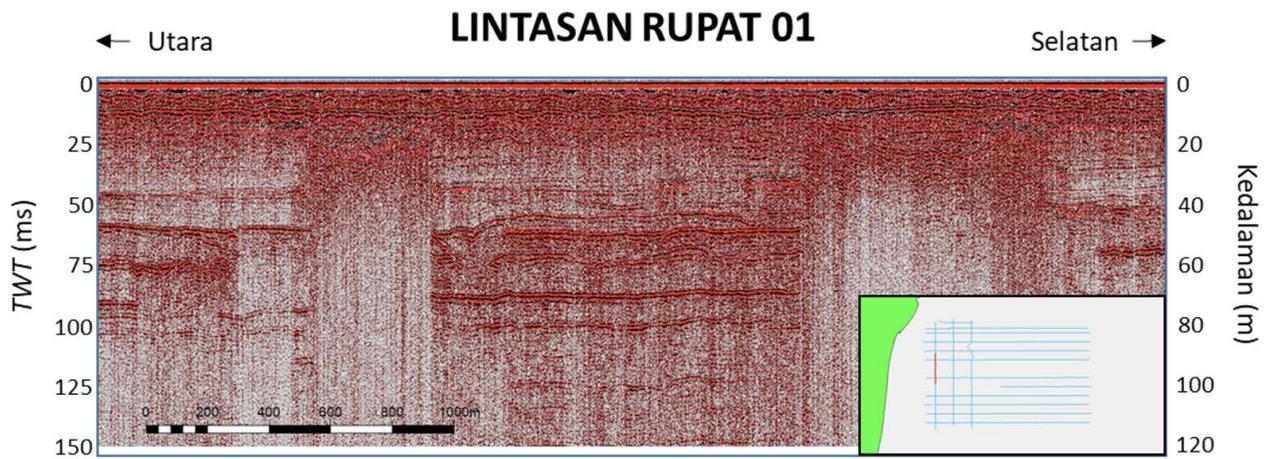
Gambar 3. Hasil penafsiran yang menggambarkan pola pengendapan sedimen di bawah permukaan Lintasan Rupat 06 (Setyanto, drr., 2023)



Gambar 4. Hasil penafsiran yang menggambarkan pola pengendapan sedimen di bawah permukaan Lintasan RUPAT 07 (Setyanto, drr., 2023)



Gambar 5. Hasil penafsiran yang menggambarkan pola pengendapan sedimen di bawah permukaan Lintasan Rupert 11 (Setyanto, drr., 2023)



Gambar 6. Hasil penafsiran yang menggambarkan pola pengendapan sedimen di bawah permukaan Lintasan Rupert 01 (Setyanto, drr., 2023)

Berdasarkan pola reflektornya, unit ini diduga merupakan sedimen dengan fraksi pasir hingga fraksi halus (lumpur) dan bersifat relatif melampar karena tingkat sedimentasinya yang relatif seragam. Akan tetapi, terlihat pada beberapa lokasi adanya pola-pola progradasi *sigmoid* dengan bentuk undulasi (*sand wave?*) pada batas atasnya yang menunjukkan adanya pengendapan dengan energi cukup besar. Lingkungan pengendapan unit ini merupakan lingkungan laut dangkal yang relatif sama dengan lingkungan saat ini, dimana jarak terhadap garis pantai tidak terlalu jauh.

Unit 2 merupakan unit sedimen yang batas atasnya dibatasi oleh *bottom* Unit 1 (*horizon 2*) dan batas bawahnya dibatasi oleh *bottom* Unit 2/batuan dasar akustik (*horizon 3*). Unit ini umumnya dicirikan oleh pola reflektor yang memperlihatkan *subparalel-chaotic* dan sebagian menunjukkan fitur *acoustic blank*, dominan kontinuitas reflektornya sedang-rendah pada sebagian tempat yang ditemukan fitur *acoustic blank* terjadi diskontinuitas, amplitudo reflektor bersifat sedang-rendah.

Berdasarkan pola reflektornya, unit ini diduga merupakan sedimen dengan fraksi pasir dengan sebagian terdapat fraksi halus. Lingkungan pengendapan unit ini diduga merupakan lingkungan transisi-laut dangkal.

Masing-masing dari kedua unit ini memiliki beberapa sub-unit dengan ketebalan yang cukup variatif. Sub-unit ini tidak diinterpretasi secara detail dan hanya difokuskan pada batas ketidakselarasan yang cenderung regional.

Ketebalan Sedimen Bawah Permukaan

Ketebalan unit sedimen bawah permukaan merupakan nilai ketebalan unit sedimen yang dibatasi oleh 2 bidang ketidakselarasan, dimana nilai ini diperoleh

dari hasil selisih kedalaman permukaan pada 2 bidang ketidakselarasan yang membatasinya. Dimana 2 unit ini yaitu: Unit 1 dan Unit 2 masing-masing memiliki pola ketebalan sebagai berikut:

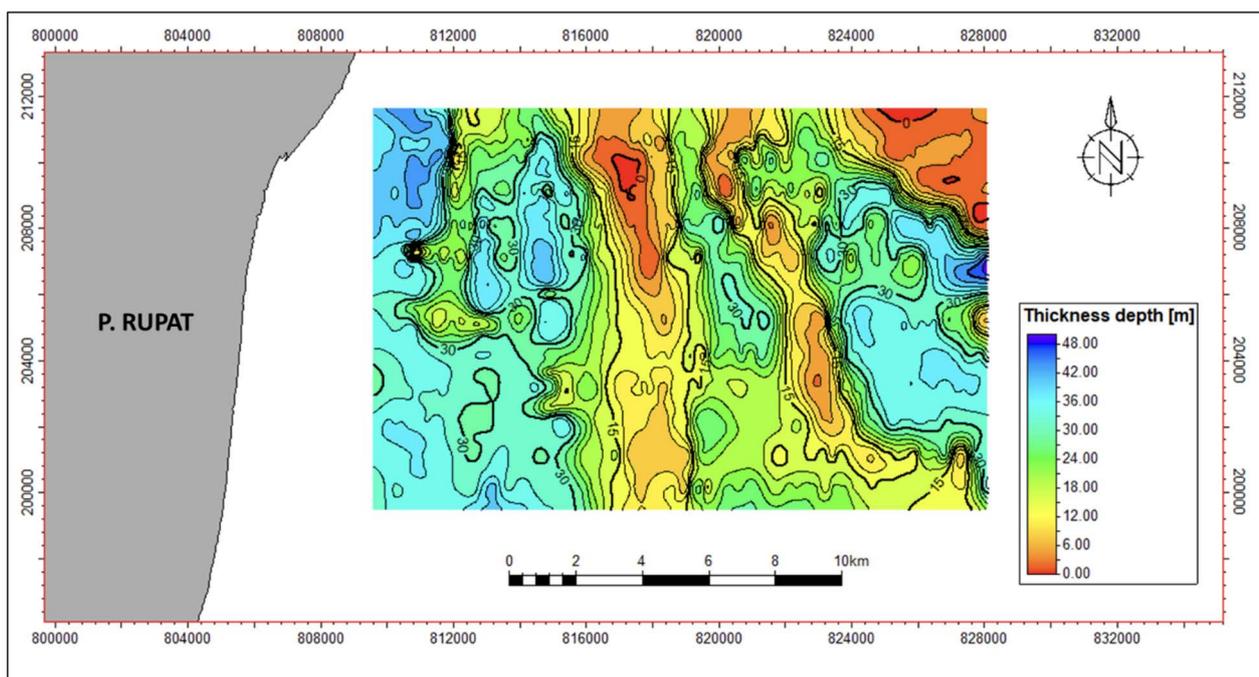
Pola Ketebalan Unit 1

Pola ketebalan sedimen paling muda (sedimen marin resen) atau yang biasa disebut juga sebagai sedimen penutup direpresentasikan dalam peta *isopah* unit 1 (Gambar 8). Berdasarkan hasil interpretasi data seismik unit ini secara umum memperlihatkan ketebalan antara 0-48 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 30 – 36 meter. Pola ketebalan unit 1 ini menunjukkan adanya perubahan ketebalan yang signifikan pada beberapa lokasi. Dimana perubahan ketebalan ini diduga akibat aktifitas erosi yang sangat kuat yang dipengaruhi oleh arus ataupun adanya peran kegiatan manusia. Aktifitas ini menyebabkan adanya penipisan-penipisan pada unit 1 di daerah tengah dan timur laut lokasi penyelidikan.

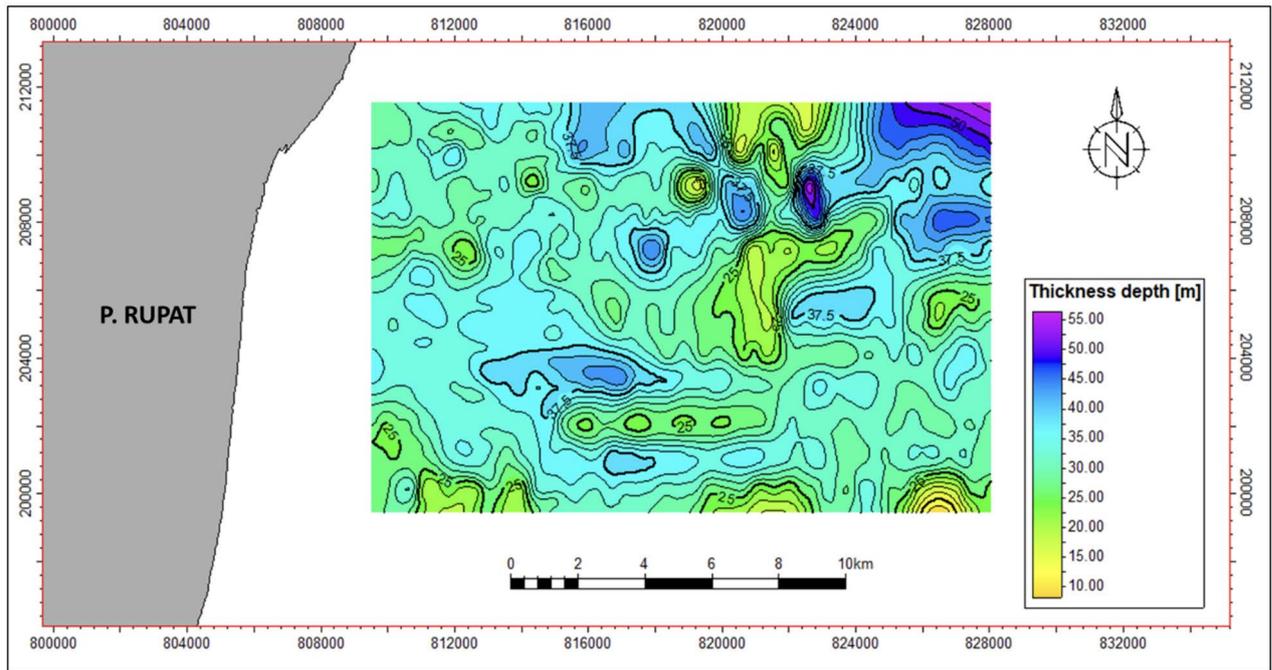
Ketebalan maksimum unit ini mencapai hingga 48 meter yang terdapat pada bagian barat laut dan timur lokasi survei. Hal ini diduga akibat adanya pengaruh laju sedimentasi yang relatif berarah barat laut-tenggara sesuai dengan pola arus laut dominan pada lokasi survei. Sementara itu nilai minimum ketebalan pada unit ini yang dicirikan dengan penipisan unit 1, diduga akibat erosi yang tinggi atau aktifitas manusia (perlu dievaluasi lebih lanjut). Konfigurasi reflektor eksternal yang membentuk bidang batas antar unit 1 dengan unit 2 berupa kontak *onlap*, *downlap* dan *concordant*.

Pola Ketebalan Unit 2

Pola ketebalan sedimen unit 2 yang direpresentasikan dalam peta *isopah* unit 2 berdasarkan hasil interpretasi data seismik unit ini secara umum



Gambar 8. Peta Isopah Unit 1 Perairan Rupert Timur (Setyanto, drr., 2023)



Gambar 9. Peta Isopah Unit 2 Perairan Rupa Timur (Setyanto, drr., 2023)

memperlihatkan ketebalan antara 2-58 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 28–32 meter.

Terdapat hal yang menarik pada pola ketebalan unit 2 ini relatif berbeda dengan pola ketebalan unit 1. Dimana perubahan penebalan dan penipisan sedimentasi tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan unit 1. Pola penebalan pada unit ini banyak menunjukkan pola reflektor internal yang menyerupai *debris flow*. Pola *debris flow* ini dicirikan dengan adanya penebalan unit dengan diiringi pola reflektor yang cenderung *chaotic* dengan *amplitude* yang relatif rendah, khususnya pada daerah utara dan timurlaut daerah penyelidikan. Ketebalan maksimum unit ini mencapai hingga 32 meter yang terdapat pada bagian utara dan timurlaut lokasi survei.

Fenomena ini sejalan dengan peneliti terdahulu (Hanebuth, 2000) yang menyatakan bahwa masa setelah terjadi genang muka air laut secara regional yang menyebabkan daratan sunda (*Sundaland*) tenggelam secara bertahap. Unit 2 ini diduga merupakan proses penenggelaman yang terjadi pada zona transisi hingga laut dangkal. Konfigurasi reflektor eksternal yang membentuk bidang batas *bottom* unit 1 dan *bottom* unit 2 berupa kontak *toplap*, *onlap* dan *concordant*.

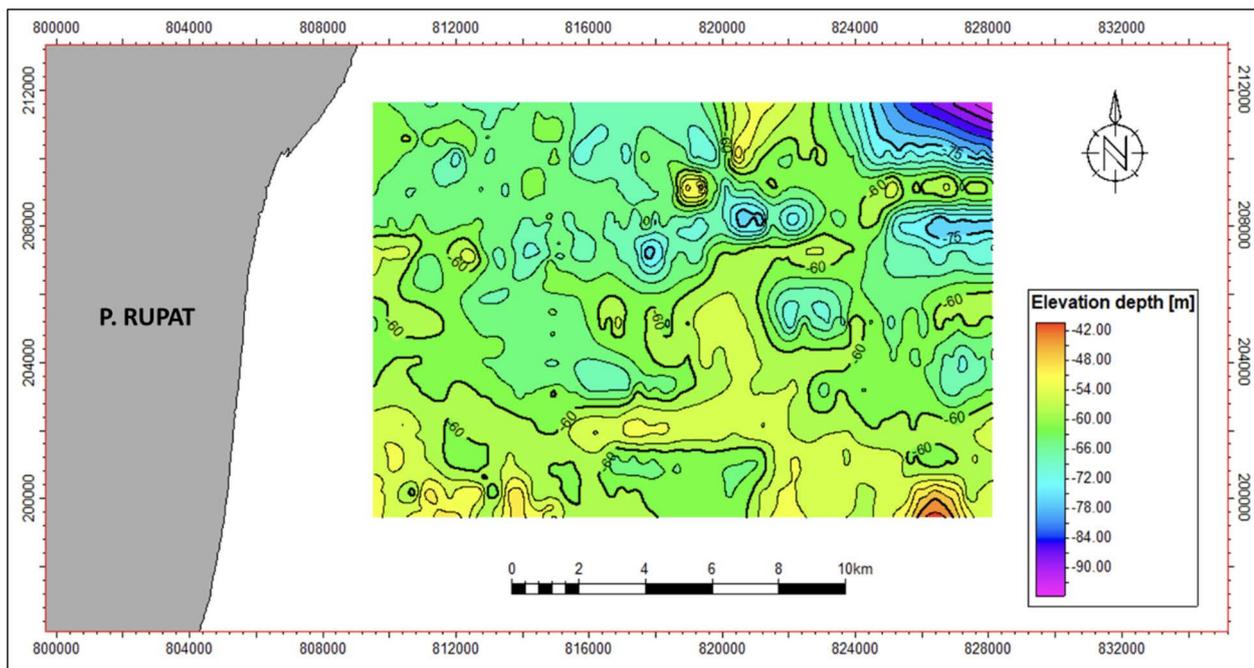
Kedalaman Permukaan Dasar Akustik

Batuan dasar akustik merupakan batas akhir unit paling bawah yang dapat diidentifikasi pada data seismik atau batuan dasar akustik dapat disebut juga sebagai batas atas lapisan terakhir pada unit paling bawah dalam satu penampang seismik. Konfigurasi reflektor pada batuan dasar akustik lokasi survei ini umumnya menunjukkan pola *subparalel-chaotic* dengan tingkat kontinuitas rendah-sedang dan amplitudo yang rendah terdapat

sebagian menunjukkan fitur *acoustic blank* yang menembus hingga unit 1.

Berdasarkan pola reflektor tersebut diduga bahwa pada unit ini dominan merupakan sedimen fraksi pasir dengan ukuran pasir sedang-kasar dan sebagian terdapat fraksi halus. Sementara pada daerah yang menunjukkan fitur *acoustic blank* perlu divalidasi lebih lanjut dengan data bor, apakah bentuk reflektor ini dikarenakan faktor litologi batuan keras (granit) atau merupakan fitur kemunculan gas.

Batas atas batuan dasar akustik ini merupakan horizon terakhir dengan rentang kedalaman berkisar antara 42–95-meter dari muka air laut. Kedalaman permukaan batuan dasar akustik ini memperlihatkan bentuk morfologi yang dominan landai dengan sebagian terlihat curam, khususnya pada daerah tenggara lokasi survei. Berdasarkan bentuk kontur dan konfigurasi reflektornya batuan dasar akustik ini diperkirakan dominan merupakan sedimen.



Gambar 10. Peta kedalaman batuan dasar akustik Perairan Timur Rupat (Setyanto, drr., 2023)

KESIMPULAN

Pola ketebalan sedimen paling muda (sedimen marin resen) atau yang biasa disebut juga sebagai sedimen penutup direpresentasikan dalam peta *isopah* unit 1. Berdasarkan hasil interpretasi data seismik unit ini secara umum memperlihatkan ketebalan antara 0-48 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 30 – 36 meter. Pola ketebalan unit 1 ini menunjukkan adanya perubahan ketebalan yang signifikan pada beberapa lokasi. Pola ketebalan sedimen unit 2 yang direpresentasikan dalam peta *isopah*, berdasarkan hasil interpretasi data seismik unit ini secara umum memperlihatkan ketebalan antara 2-58 meter dengan dominasi ketebalan berkisar 28–32 meter. Batas atas batuan dasar akustik ini merupakan horizon terakhir dengan rentang kedalaman berkisar antara 42–95 meter dari muka air laut. Kedalaman permukaan batuan dasar akustik ini memperlihatkan bentuk morfologi yang dominan landai dengan sebagian terlihat curam, khususnya pada daerah tenggara lokasi survei. Berdasarkan bentuk kontur dan konfigurasi reflektornya batuan dasar akustik ini diperkirakan dominan merupakan sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada menyampaikan ucapan terima kasih kepada: Kepala Badan Geologi, Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Ketua Kelompok Kerja Sumber Daya Geologi Kelautan (SDGK) BBSPGL, seluruh anggota tim survei dan rekan-rekan Kelompok SDGK yang terlibat dalam kegiatan ini.

DAFTAR ACUAN

- Arifin, M., dan Suhala, 1997, Bahan Galian Industri, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral: Bandung.
- Bragmann, C.P and Goncalves, M.R.F. 2006. Thermal Insulators Made with Rice Husk Ashes: Production and Correlation Between Properties and Microstructure. Department of materials, school of engineering, federal university of rio grande do sul, Brasil.
- Della, V.P., Kuhn, I., and Hotza, D. 2002. *Rice Husk Ash an Alternate Source for Active Silica Production. Materials Letters*. Vol. 57, pp. 818-821.
- Hanebuth T, K Statteger & PM Grotts. 2000. *Rapid Flooding of the Sunda Shelf; a Late Glacial Sea-level Record. Science*, 288: 1033– 1035.
- Kementerian ESDM. (2020). Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2020. Jakarta: Pusat Mineral Batubara dan Panas Bumi
- Mitchum, R.M., J.R., Vail, P.R., and Sangree, J.B., 1977. *Stratigrafi Interpretation of Seismic Reflection Patterns in Depositional Sequences*. Publishen by AAPG Tulsa, Oklahoma, USA. .117-133.
- Puchala, R., B. R. Min, A. L. Goetsch, and T. Sahlu. 2005. *The effect of a condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. J. Anim. Sci.* 83: 182-186.
- Setyanto, A., Shaska R.Z., Setiady, D., Nurdin, N., Zulfikar, M., Andri Syahrir, Faris N.R., Dwiputra,AP., 2023. Survei Prospeksi Pasir Silika

di Perairan Timut Pulau Rupal, Kabupaten
Bengkalis, Provinsi Kepulauan Riau, 2023.
Laporan Akhir, *Unpublished. BBSPGL*, 1-109.

Sukandarrumidi, 2004, Bahan Galian Industri,
Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Sutardji. 2009. Sumberdaya Alam. Buku Ajar. Semarang:
Fakultas Ilmu Sosial UNNES

PANDUAN PENULISAN MAKALAH ILMIAH JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

PETUNJUK UMUM PENULISAN

Naskah merupakan karya asli mengenai berbagai aspek penelitian atau artikel ulasan balik/tinjauan (*review*) tentang geologi kelautan, baik sains maupun terapan, dan ilmu lain yang terkait. Naskah belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada majalah/jurnal lain yang dinyatakan dalam surat pernyataan penulis dan diketahui oleh pimpinan instansi.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia yang baik dan benar dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Naskah yang isi dan formatnya tidak sesuai dengan pedoman penulisan Jurnal Geologi Kelautan akan ditolak oleh dewan redaksi dan dewan redaksi tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut. **Dewan redaksi tidak menerima naskah dengan penulis tunggal.**

FORMAT PENULISAN NASKAH

Umum

Halaman pertama naskah berisi **judul makalah dalam bahasa Indonesia & Inggris**, nama setiap penulis, nama dan alamat institusi masing-masing penulis (nomor telepon dan atau alamat e-mail), sari dan *abstract*, kata kunci/*keyword* (ditulis di bawah Sari/*Abstract*).

Setiap halaman diberi nomor secara berurutan termasuk halaman gambar dan tabel. Naskah ditulis minimum 1000 kata diketik dengan komputer dalam *MS-Word* dengan huruf *Times New Roman, Font-12*, dua spasi.

Susunan naskah dibuat seperti berikut:

Naskah hendaknya ditulis dalam susunan sebagai berikut: (1) judul, (2) sub judul, (3) penulis dan alamat penulis, (4) sari dalam bahasa Indonesia dan Inggris disertai kata kunci, maksimum 200 kata, (5) pendahuluan, (6) metode, (7) hasil penelitian, (8) pembahasan, (9) kesimpulan dan saran, (10) ucapan terima kasih, (11) daftar acuan, (12) lampiran (jika ada), (13) gambar dan tabel, serta keterangannya.

FORMAT ACUAN

Acuan disusun menurut abjad. Jika terdapat lebih dari satu acuan yang ditulis oleh orang yang sama, acuan disusun berdasarkan tanggal (yang lebih awal disebut lebih dulu) dan kemudian menurut abjad.

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

- *Buku:*
Kearey Philip, Brooks Michael and Hill Ian, 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Sciences Company, Iowa, USA, 3rd ed., 262h.
- *Jurnal*
Clarke, J.D.A. and Ringis, J., 2000. Late Quaternary Stratigraphy and Sedimentology of the Inner part of Southwest Joseph Bonaparte Gulf. *Australian Journal of Earth Sciences*, 47, h.715-732

- *Prosiding*

Moore, D.E., Goodman H.E., Norman P.D., 1995. Application of 3-D Seismic/Forward Modeling to Water Shutoff and Other Reservoir Management Issues. *Proc. 24th Ann. Conv. IPA*, Jakarta, Indonesia.

- *Peta*

Astawa, I.N., Kusnida, D. & Arifin, L., 2003. *Peta Geologi Dasar Laut Perairan Sepanjang*, skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung.

- *Informasi dari Internet*

Cantrell, C., 2006. Sri Lankan's tsunami drive blossom: *Local man's effort keeps on giving*.
[Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankans_tsunami_drive_blossoms/](http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankans_tsunami_drive_blossoms/)[26 Jan 2006], Jam Download.

PENGIRIMAN

Penulis diminta mengirimkan naskah melalui *Open Journal System (OJS)* dengan alamat : <http://ejournal.mgi.esdm.go.id/index.php/jgk>, disiapkan dengan program *Microsoft Word*.

Pengiriman naskah harus disertai surat resmi dari penulis penanggungjawab dan dilengkapi dengan alamat kantor, nomor telepon/hp, alamat e-mail. Penulis bertanggung jawab atas isi naskah dan legalitas pengiriman naskah yang bersangkutan.

CALL FOR PAPER :

Redaksi menerima makalah ilmiah dari pembaca untuk diterbitkan dalam jurnal ini dengan mengacu kepada persyaratan tersebut di atas.

SERTIFIKAT

Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi



Kutipan dari Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan,
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia
Nomor: 21/E/KPT/2018, Tanggal 9 Juli 2018
Tentang Hasil Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode I Tahun 2018

Nama Jurnal Ilmiah
Jurnal Geologi Kelautan
E-ISSN: 2527-8851
Penerbit: Puslitbang Geologi Kelautan, Kementerian ESDM

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Akreditasi berlaku selama 5 (lima) tahun, yaitu
Volume 14 Nomor 1 Tahun 2016 sampai Volume 18 Nomor 2 Tahun 2020

Jakarta, 9 Juli 2018
Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan



Dr. Muhammad Dimiyati
NIP. 195912171984021001





**BALAI BESAR SURVEI DAN PEMETAAN GEOLOGI KELAUTAN
KANTOR PUSAT :**

Jl. Dr. Djunjunan No. 236, Bandung - 40174

Telp. +62 22 6032020, +62 22 6032201, Fax. +62 22 6017887

KANTOR PENDUKUNG :

Jl. Kalijaga No. 101, Cirebon - 45113

Telp. +62 231 207037, Fax. +62 231 246304

<https://www.mgi.esdm.go.id>, email : ejournal.p3gl@esdm.go.id; humasbbspgl@esdm.go.id

ISSN 1693-4415



Terakreditasi sebagai Majalah
Ilmiah berdasarkan keputusan
Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kemenristekdikti No. 200/M/KPT/2020
Tanggal 23 Desember 2020