

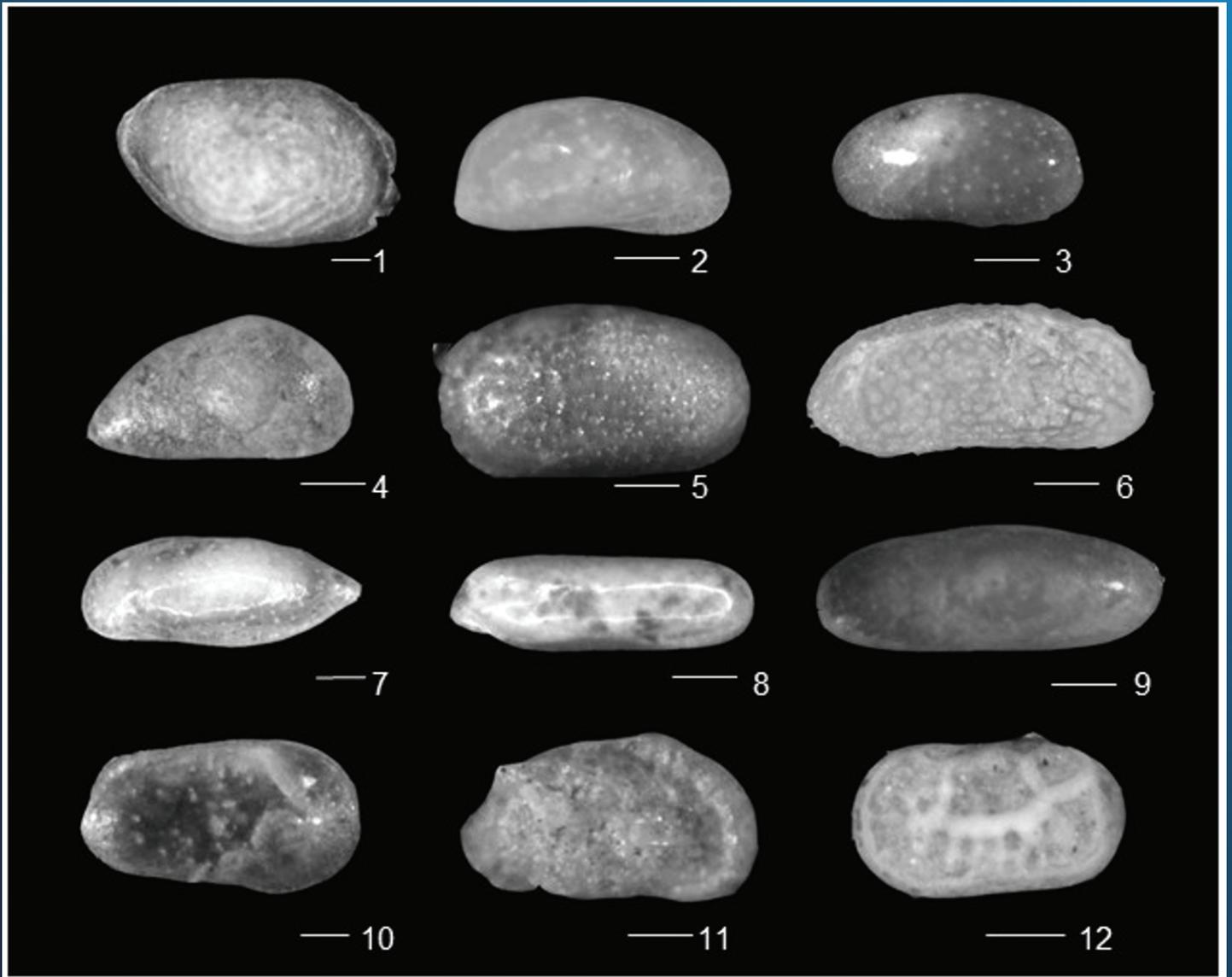


JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

MEDIA HASIL PENELITIAN GEOLOGI KELAUTAN

Volume 21, No. 1, Juni 2023

ISSN : 1693- 4415



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

JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

VOL. 21

NO. 1

HAL. 1 - 53

BANDUNG
JUN. 2023

ISSN
1693-4415

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



JURNAL GEOLOGI KELAUTAN

MEDIA HASIL PENELITIAN GEOLOGI KELAUTAN

Vol. 21, No. 1, Juni 2023

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.
Ir. Nur Adi Kristanto, M.T.
Yani Permanawati, S.T., M.Si.
Fauzi Budi Prasetyo, S.T., M.T.
FX. Harkins H. Prabowo, S.T., M.T.
Ali Albab, S.T.
Agus Setyanto, S.T., M.Eng.
Irwan Hidayat Suherman, S.Si.
Eko Saputro, S.T., M.T.
Imam Setiadi, S.Si., M.T.

Mitra Bestari : Dr. Agus Setyawan - KKP
Prof. Ris. Dra. Mimin Karmini - IAGI JABAR
Ir. Dida Kusnida, M.Sc. - 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
Dwinanda Pratya Annisa Murni, S.Pd.
M. Nieko Destama, S.I.Pus.

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. Junjuran 236, Bandung-40174, Indonesia
Telepon : 022-6032020, 6032201, Ext 268, Fax : 022- 6017887
<http://www.mgi.esdm.go.id> e-mail : ejournal.p3gl@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Pembaca yang budiman,

Jurnal Geologi Kelautan merupakan media publikasi antar para pakar di bidang kebumihantian yang secara spesifik tentang geologi kelautan. Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) Badan Geologi Kementrian 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 21 No. 1 tahun 2023 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: **Penentuan Lokasi Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Skala Kecil Di Perairan Selat Lembeh, Bitung Sulawesi Utara; Mikrofauna (Ostrakoda) Dari Teluk Balikpapan: Implikasinya Untuk Interpretasi Lingkungan Pengendapan; Pola Sebaran Foraminifera Pada Endapan Sedimen Gosong Pantai Delta Wulan, Demak, Jawa Tengah; Analisis Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Pesisir Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat; Pemodelan Gelombang Dan Arus Pada Desain Groin Di Ppi Cisolok, Sukabumi.**

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 2023

Dewan Redaksi



DAFTAR ISI

- Penentuan Lokasi Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Skala Kecil Di Perairan Selat Lembeh, Bitung Sulawesi Utara*
Mira Yosi, Nineu Yayu Geurhaneu, S.Si., M.T., Yani Permanawati, Irwan Hidayat Suherman, Delyuzar Illahude ----- 1-12
DOI: 10.32693/jgk.21.1.2023.777
- Mikrofauna (Ostrakoda) Dari Teluk Balikpapan: Implikasinya Untuk Interpretasi Lingkungan Pengendapan*
Kresna Tri Dewi, Yusuf Adam Priohandono -----13-22
DOI: 10.32693/jgk.21.1.2023.779
- Pola Sebaran Foraminifera Pada Endapan Sedimen Gosong Pantai Delta Wulan, Demak, Jawa Tengah*
Anis Kurniasih, Meidey Tiara, Wahyu Krisna Hidajat-----23-34
DOI: 10.32693/jgk.21.1.2023.797
- Analisis Sebaran Sedimen Dasar Di Perairan Pesisir Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat*
Muhardi, Zulfian, Riza Adriat, Yusuf Arief Nurrahman, Mega Sari Juane Sofiana, Risiko-----35-43
DOI: 10.32693/jgk.21.1.2023.820
- Pemodelan Gelombang Dan Arus Pada Desain Groin Di Ppi Cisolok, Sukabumi*
Yessi Nirwana Kurniadi, M. Rifki Permadi, Nineu Yayu Geurhaneu, Deny Setiady -----44-53
DOI: 10.32693/jgk.21.1.2023.790

PENENTUAN LOKASI TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT SKALA KECIL DI PERAIRAN SELAT LEMBEH, BITUNG SULAWESI UTARA

DETERMINATION OF TURBINE LOCATION FOR SMALL SCALE SEA FLOW POWER PLANTS IN LEMBEH STRAIT WATER, BITUNG NORTH SULAWESI

Mira Yosi¹, Nineu Yayu Gerhaneu¹, Yani Permanawati¹, Irwan Hidayat Suherman^{1*}, Purnomo Raharjo¹, dan Delyuzar Ilahude²

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung

² PT. Bumi Resources Minerals Tbk, L6 & L10, Bakrie Tower, Kompleks Rasuna Epicentrum, JL. HR. Rasuna Said, Karet Kuningan Setiabudi, Jakarta Selatan

*irwan.suherman@esdm.go.id

Diterima : 21-09-2022, Disetujui : 31-01-2023

ABSTRAK

Selat Lembeh terletak di antara Kota Bitung dan Pulau Lembeh, Sulawesi Utara. Penelitian potensi energi arus laut telah dilakukan di lokasi ini, untuk mengkaji kemungkinan dikembangkannya Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) skala kecil (2 kW) dengan model turbin sumbu vertikal. Salah satu tahapan dalam implementasi PLTAL skala kecil adalah untuk mendapatkan rapat daya arus dan penentuan lokasi penempatan turbin. Beberapa kriteria teknis yang dipersyaratkan harus dipenuhi pada tahapan ini. Untuk maksud tersebut dilakukan kajian awal dengan melakukan analisis data kedalaman laut, *Sub Bottom Profiling* (SBP), arus bergerak, arus insitu dan pasang surut. Data tersebut direpresentasikan dalam data kecepatan arus laut, morfologi dasar laut, kedalaman laut, durasi waktu kecepatan arus kuat, jarak terhadap garis pantai. Berdasarkan hasil analisis data tersebut diperoleh hanya satu lokasi yang paling representatif untuk penempatan turbin yaitu pada lokasi Stasiun 1. Kedalaman laut pada lokasi ini sekitar 20 m dengan kecepatan arus maksimum antara 1,4 m/det – 2 m/det.

Kata kunci: Kecepatan arus, rapat daya, turbin, Selat Lembeh

ABSTRACT

Lembeh Strait is located between Bitung City and Lembeh Island, North Sulawesi. Research on the potential for ocean current energy has been carried out at this location, to assess the possibility of developing a small-scale Ocean Current Power Plant (2 kW) with a vertical axis turbine model. One of the stages in the implementation of small-scale PLTAL is to obtain current power density and determine the location of the turbine placement. Some of the required technical criteria must be met at this stage. For this purpose, a preliminary study was carried out by analyzing ocean depth data, Sub Bottom Profiling (SBP), moving currents, in situ currents and tides. The data is represented in data on ocean current velocity, seabed morphology, sea depth, time duration of strong current velocity, and distance to coastline. Based on the results of the data analysis, there is only one most representative location for the placement of the turbine, namely at Station 1. The depth of the sea at this location is about 20 m with a maximum current speed of between 1.4 m / s - 2 m / s.

Keyword: Current velocity, power density, turbine, Lembeh Strait

PENDAHULUAN

Daerah penelitian yang berlokasi di Selat Lembeh adalah termasuk dalam wilayah Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis berada pada koordinat antara $01^{\circ} 22' - 01^{\circ} 34'$ Lintang Utara dan $125^{\circ} 04' - 125^{\circ} 18'$ Bujur Timur (Gambar 1). Daerah Sulawesi Utara telah lama dikenal sebagai salah satu daerah yang berpotensi di bidang sumberdaya alam, antara lain adalah bahan galian untuk industri dan panas bumi. Di sektor kelautan perairan Sulawesi Utara sangat berpotensi dengan hasil laut yang saat ini telah menjadi primadona dalam Pendapatan Asli Daerah (PAD) disamping hasil perkebunan (kopra) yang ada di daerah Kabupaten Minahasa Utara.

Selain potensi dibidang perikanan, Pulau Lembeh dan Kota Bitung yang dipisahkan oleh Selat Lembeh, saat ini telah menjadi daerah tujuan wisata yang cukup berpotensi untuk dikembangkan, terutama di daerah pesisir Selat Lembeh bagian Utara dan Selatan Pulau Lembeh. Sayangnya sebagian wilayah Pulau Lembeh belum dapat dialiri listrik. Jika dihubungkan dengan luas wilayah Kota Bitung seluas $313,50 \text{ km}^2$, maka kepadatan penduduk pada tahun 2009 mencapai sekitar 654 jiwa/km^2 . Angka ini tergolong padat sebagaimana daerah perkotaan lainnya. Jika dikaitkan dengan pertumbuhan konsumsi listriknya maka paling tidak daerah ini membutuhkan lebih dari 5.000 MW dari kapasitas kasar untuk kawasan Sulawesi Utara. Oleh sebab itu perlu dipikirkan penggunaan energi terbarukan untuk menggantikan konsumsi energi dari sumber energi konvensional yang selama ini digunakan.

Pada dasarnya, arus laut merupakan gerakan horizontal massa air laut, sehingga arus laut memiliki energi kinetik yang dapat digunakan sebagai tenaga penggerak rotor atau turbin pembangkit listrik. Secara global, laut mempunyai sumber energi yang sangat besar yaitu mencapai total $2,8 \times 10^{12}$ (280 Triliun) Watt-jam. Selain itu, arus laut ini juga menarik untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik karena sifatnya yang relatif stabil, periodik dan dapat diprediksi pola atau karakteristiknya. Pengembangan teknologi ekstraksi energi arus laut lazimnya dilakukan dengan mengadopsi prinsip teknologi energi angin yang telah lebih dulu berkembang, yaitu dengan mengubah energi kinetik arus laut menjadi energi rotasi dan energi listrik. Energi arus laut ini dapat dikonversikan menjadi pembangkit listrik dengan desain turbin skala kecil hingga menengah.

Hal yang menarik di perairan Sulawesi Utara khususnya di perairan Selat Lembeh adalah tingkat sedimentasi dan limbah rumah tangga yang relatif rendah sehingga kawasan ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi daerah pembangkit listrik tenaga energi laut untuk menunjang pertumbuhan ekonomi dan pariwisata di daerah tersebut. Salah satu kegiatan yang mendukung di dalam pengelolaan sumberdaya kelautan di perairan Selat Lembeh tersebut yaitu melalui penelitian potensi energi arus laut menggunakan integrasi metode geofisika dan oseanografi.

Pemetaan potensi energi laut merupakan realisasi dari Program Penelitian dan Pengembangan ESDM, yang mengambil lokasi di perairan Selat Lembeh, Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Dengan keterbatasan data dan informasi mengenai data oseanografi khususnya



Gambar 1. Lokasi penelitian potensi energi laut di Selat Lembeh

di daerah Selat Lembeh, maka penelitian potensi energi laut ini paling tidak akan menambah informasi data dalam jaringan pemetaan potensi energi laut yang dilakukan oleh PPPGL selama ini. Selain itu dari hasil penelitian potensi energi laut ini diharapkan akan memberi gambaran informasi data yang lebih akurat disamping potensi sumberdaya alam yang berada di lepas pantainya. Informasi data ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pendayagunaan potensi energi laut di daerah Kota Bitung khususnya di Pulau Lembeh dan sekitarnya.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data potensi energi arus laut dan data pendukung lainnya antara lain, pasang surut laut (pasut), *side scan sonar* dan *sub-bottom profiling* (SBP) guna mengkaji lokasi penempatan PLTAL model sumbu vertikal di Selat Lembeh. Model turbin yang dijadikan acuan dalam kajian ini adalah model turbin sumbu vertikal tipe Darrieus dengan tiga bilah turbin (diameter 2 m, tinggi 2 m) yang dikembangkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (Marta dan Rahuna, 2011). Turbin ini mempunyai kapasitas 2 kW dengan *cut in speed* sekitar 0,5 m/det dan telah diuji coba di Selat Madura. Hasil uji coba menunjukkan turbin ini dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan arus rata-rata sebesar 0,47 m/det dan kecepatan arus maksimum sebesar 1,3 m/det (Firdaus dkk. (2014) dan Fajar dkk. (2014), Kompas edisi 30 Maret 2013).

Dilihat dari kisaran kecepatan arus, kecepatan arus di Selat Madura relatif lebih rendah daripada kecepatan arus di Selat Lembeh. Kecepatan arus rata-rata di Selat Lembeh sebesar 0,53 m/det dan kecepatan arus maksimum sebesar 2,002 m/det (Ilahude dkk., 2016), sehingga model turbin ini cocok dikembangkan di lokasi Selat Lembeh. Penentuan lokasi penempatan turbin PLTAL skala 2 kW memiliki beberapa kriteria teknis harus dipenuhi. Kriteria tersebut adalah kecepatan arus di atas 0,5 m/det dengan durasi waktu lebih dari 10 jam per hari (Erwandi, 2011), aliran massa airnya laminar, kedalaman lautnya tidak terlalu dalam (sesuai dengan teknologi yang dikembangkan sekitar 20-50 m) dan morfologi dasar lautnya relatif rata dan landai, bukan daerah penangkapan ikan, terlindung dari pengaruh gelombang secara langsung, tidak jauh dari pantai (kurang dari 1 km), dekat dengan jaringan listrik dan pemukiman (Sornes, 2010; Thake, 2005).

Penentuan lokasi penempatan turbin PLTAL skala 2 kW harus memperhatikan kondisi morfologi dasar perairan. Kesesuaian kondisi morfologi dasar laut menyesuaikan kriteria turbin yang akan dipasang. Morfologi dasar laut diperoleh dengan menggunakan data pemeruman (*sounding*) untuk mendapatkan peta batimetri daerah penelitian. Survei *side scan sonar* yang dilakukan di perairan ini adalah lebih difokuskan pada daerah perairan yang dangkal guna mendapatkan informasi morfologi dasar laut khususnya pada koridor yang dilakukan pengukuran ADCP bergerak (*mobile*) dan ADCP statis di perairan Selat Lembeh. Tujuan yang akan dicapai dari kegiatan penelitian ini adalah untuk

mendapatkan lokasi yang cocok untuk penempatan turbin arus laut di perairan Bitung Sulawesi Utara dan sekitarnya, khususnya perairan Selat Lembeh.

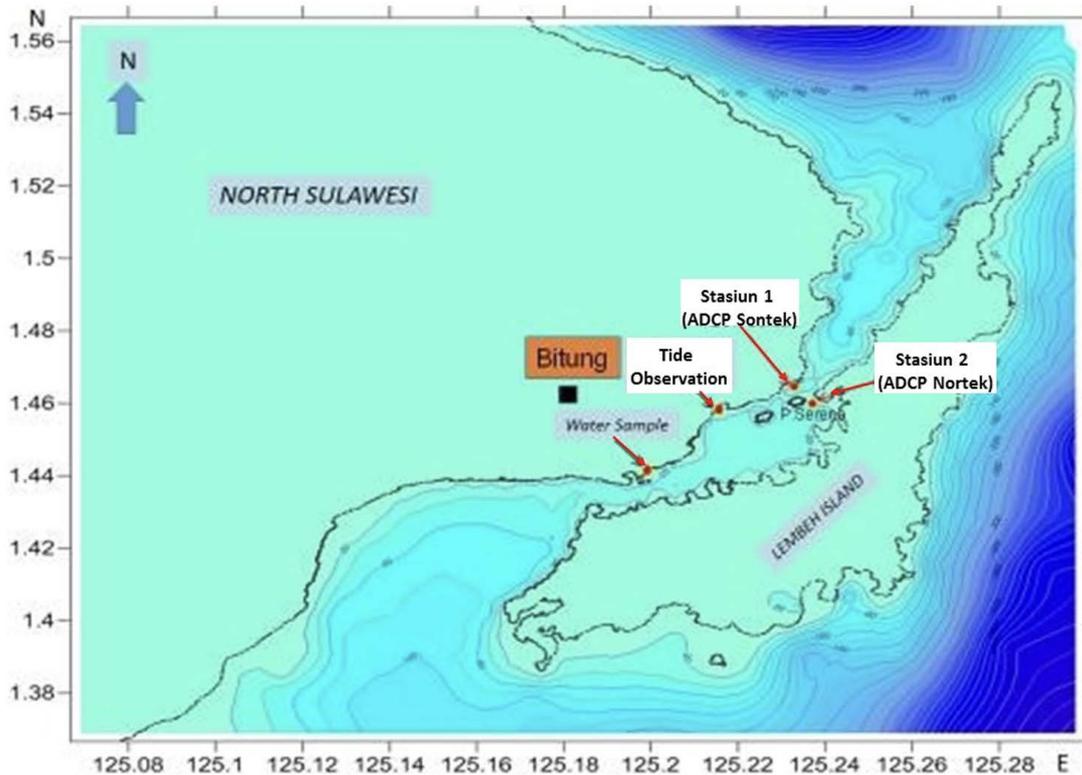
METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa unit peralatan dan menerapkan beberapa metode survei geofisika dan oseanografi. Pengambilan data kedalaman laut dilakukan dengan menggunakan alat gema suara (*echo sounder*) sepanjang lintasan kapal. Metode lain yaitu *side scan sonar* untuk mendeteksi obyek yang berada di permukaan dasar laut pada beberapa lokasi yang dianggap cukup representatif. Pengukuran elevasi pasang surut untuk mengetahui tipe pasang surut menggunakan palm rambu pasang surut yang diamati secara berkala setiap 30 menit. Data pasang surut ini juga digunakan untuk koreksi terhadap data pengukuran kedalaman laut. Sementara pengukuran arus laut dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran statis dan bergerak (*mobile*). Pengukuran dengan alat *current meter* statis dilakukan pada dua lokasi dengan menggunakan alat *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) Nortek dan Sontek. Peralatan ADCP Sontek ditempatkan di Stasiun 1 pada kedalaman 14 m dengan posisikoordinat 125° 14' 8.09" BT; 1° 28' 1.59" LU, tepatnya di perairan sebelah utara P. Serena. Adapun peralatan ADCP Nortek ditempatkan di Stasiun 2 pada kedalaman 28 m, dengan posisi koordinat 125° 14' 03.4" BT; 1° 27' 30" LU, tepatnya diantara P. Serena dan daratan Pulau Lembeh (Gambar 2).

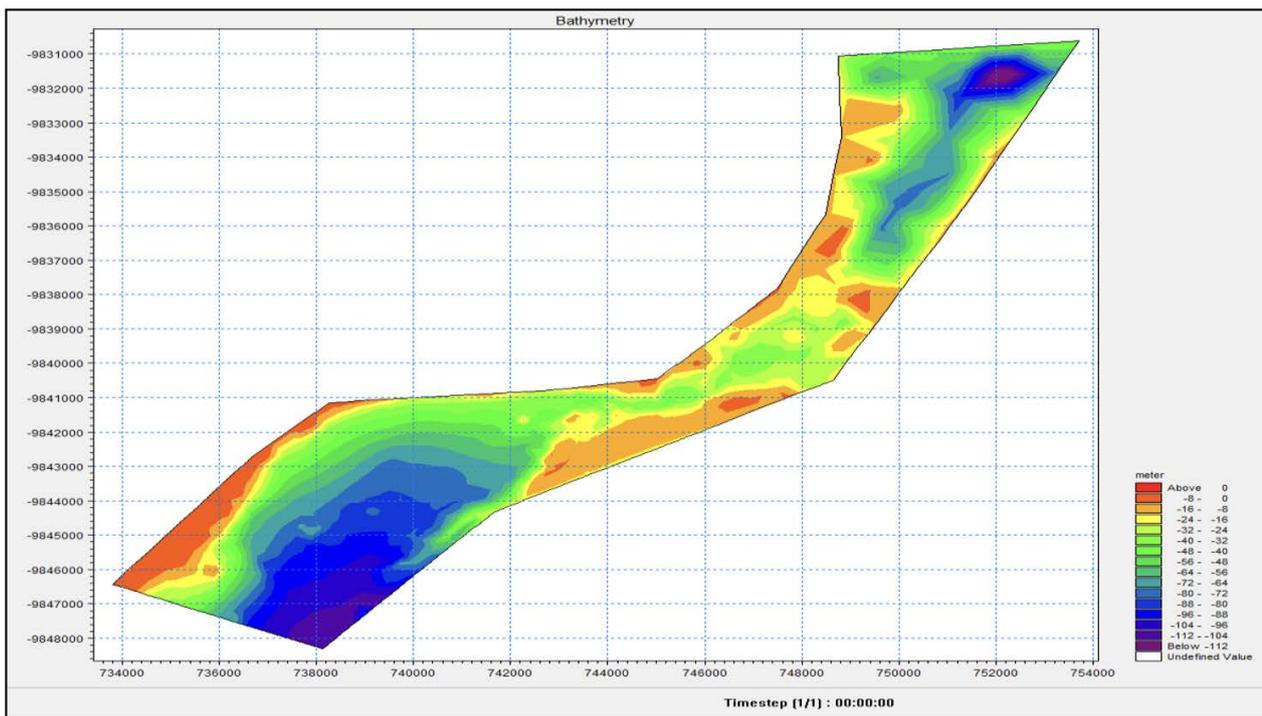
Kedua sistem peralatan tersebut merekam data arus dengan interval waktu 15 menit dengan lama waktu pengukuran masing-masing selama 21 hari. Data yang diperoleh adalah data distribusi vertikal kecepatan dan arah arus insitu. Pada pengukuran ini setiap kolom air diset dengan interval sel masing-masing 1,5 dan 1,6 m yang dilakukan bersamaan dengan pengukuran pasang surut. Selain itu juga dilakukan pengukuran arus dengan Pengukuran vessel ADCP secara *mobile* dipasang di atas kapal survei. Metoda ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kecepatan arus laut pada kedalaman tertentu. Lintasan pengukuran dalam penelitian ini berpola tegak lurus memotong Selat Lembeh. Survei vessel ADCP secara *mobile* dilakukan pada tiga koridor, yaitu dua koridor disekitar ADCP statis pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 dan 1 koridor berada di bagian selatan Selat Lembeh.

HASIL PENELITIAN

Hasil pemeruman menunjukkan bahwa pada umumnya lokasi penelitian memiliki morfologi lereng pantai yang relatif curam. Kontur di bagian utara Pulau Serena mempunyai kedalaman laut yang sangat dalam dan curam, yaitu di atas 100 m. Berdasarkan kontur dapat dilihat bahwa di bagian utara Pulau Serena mempunyai kedalaman laut yang sangat dalam dan curam yaitu di atas 100 m. Hasil progredasi peta batimetri ditampilkan di Gambar 3.



Gambar 2. Peta lokasi penempatan ADCP Sontek dan Nortek serta lokasi pasut dan pengambilan sampel air

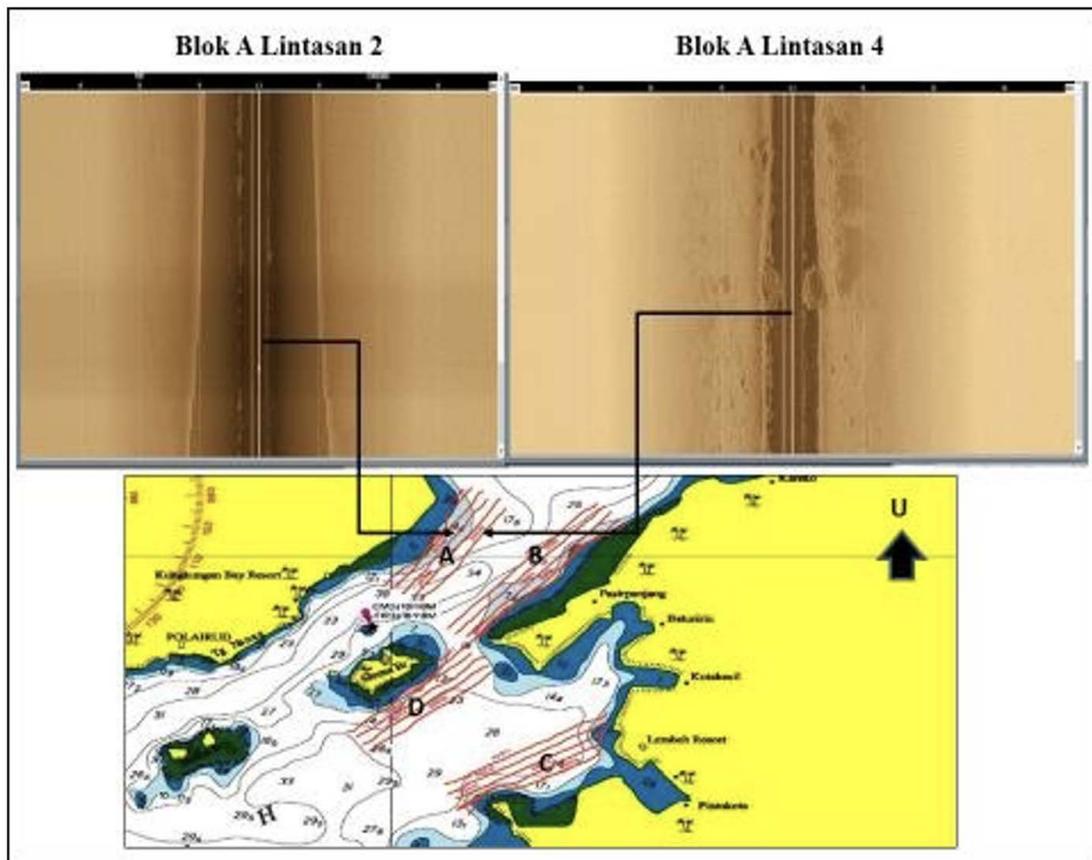


Gambar 3. Progradasi peta batimetri perairan Selat Lembeh

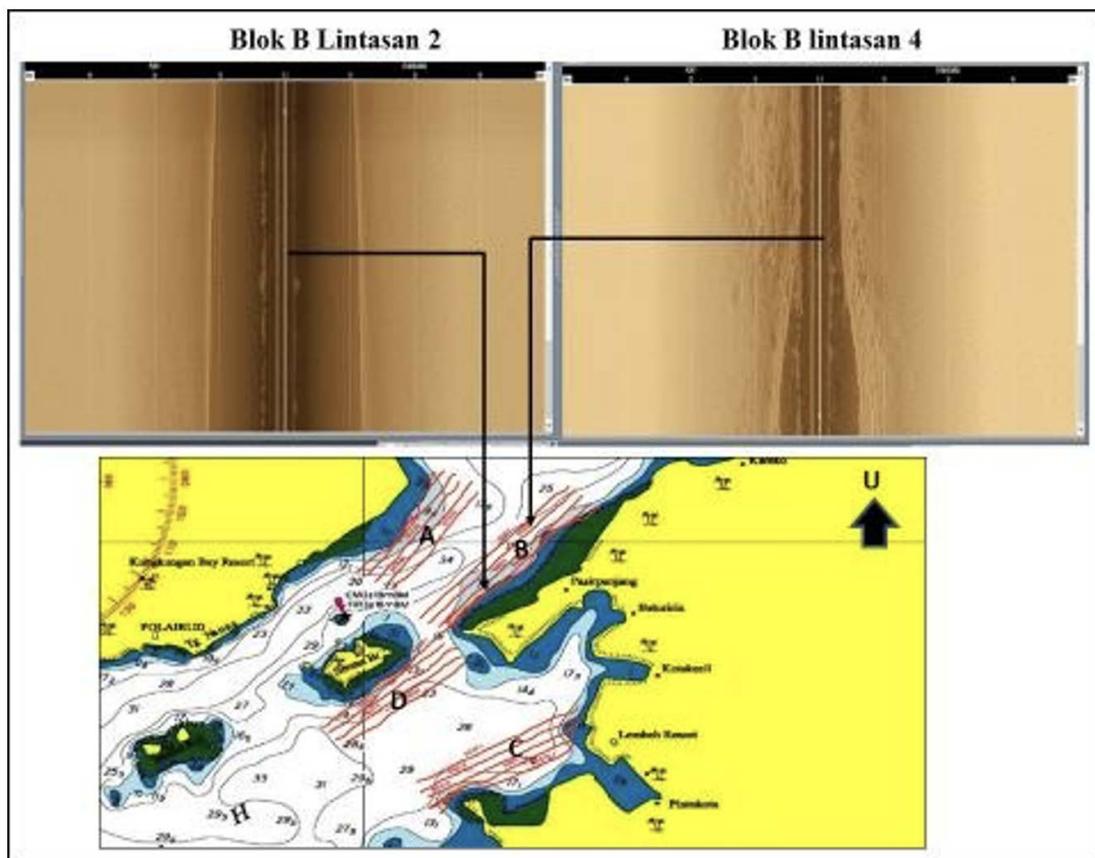
Pada jarak kurang lebih 50 m ke arah lepas pantai banyak ditumbuhi terumbu karang mengitari hampir di sepanjang daerah penelitian. Di bagian tenggara Bitung, permukaan dasar lautnya relatif berundulasi terutama mendekati Pulau Lembeh. Pola kontur batimetri di bagian timur dan timur laut relatif rapat yang mencerminkan morfologi dasar laut yang curam. Pengambilan data *sidescan sonar* hanya dilakukan pada

lokasi yang dangkal yaitu pada kedalaman laut antara 5-25 m yang berlokasi di Selat Lembeh dengan arah lintasan hampir sejajar dengan garis pantai.

Hasil pengukuran insitu menggunakan ADCP *mobile* memperlihatkan bahwa penampang melintang distribusi kecepatan arus baik secara vertikal maupun horizontal saat kondisi surut, ditunjukkan dalam gambar di bawah ini (Gambar 6). Secara vertikal kecepatan arus



Gambar 4. Rona awal permukaan dasar laut dari hasil *sidescan sonar* pada lintasan 2 dan 4 koridor A memperlihatkan terumbu karang pada lintasan 4.



Gambar 5. Rona awal permukaan dasar laut dari hasil *sidescan sonar* pada lintasan 2 dan 4 koridor B.

berbeda antara arus permukaan, menengah, dan bawah, sedangkan secara horizontal kecepatan arus berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya. Kecepatan arus maksimum di permukaan sampai menengah berkisar antara 1,34 m/det – 2,26 m/det, sedangkan kecepatan arus di bagian bawah 1,3 m/det – 1,7 m/det. Sedangkan kecepatan arus minimum di permukaan sampai menengah berkisar antara 0,15 m/det – 0,35 m/det, sedangkan kecepatan arus minimum di bagian bawahnya berkisar 0,2 m/det – 0,4 m/det.

Besarnya daya listrik bergantung pada densitas fluida, luas penampang aliran, dan kecepatan alirannya. Fraenkel (2002) menjelaskan bahwa kecepatan yang didapat dari aliran air akan berpengaruh terhadap rapat daya yang diperoleh. Untuk mendapatkan rapat daya dari hasil pengukuran di Selat Lembeh tersebut maka parameter hasil pengukuran tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan yang diformulasikan oleh Fraenkel (2002) sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

dengan:

P = rapat daya listrik yang dihasilkan (kW)

ρ = densitas air laut (gt/cm^3)

A = luas bidang turbin untuk menangkap debit aliran air (m^2)

V = kecepatan aliran arus (m/detik)

Energi yang dihasilkan dari pergerakan arus sangat tergantung pada kecepatan arus itu sendiri. Menurut Fraenkel (2002) pada suatu lokasi dimana kecepatan arus mencapai 2 – 3 m/detik, rapat daya yang dihasilkan akan maksimal. Untuk pengembangan energi arus laut, jika kecepatan arus mencapai 2 m/det, akan menghasilkan rapat daya sebesar kurang lebih 4,1 kW/m². Jika terjadi peningkatan kecepatan arus sebesar 3 m/detik, akan menghasilkan rapat daya maksimal sebesar 13,9 kW/m².

Hasil pengukuran arus disajikan dalam Tabel 2. Kecepatan arus yang terekam oleh ADCP berkisar antara 0,1 cm/det – 200,2 cm/det. Adapun sebaran pola arus hasil perekaman ADCP dapat dilihat dalam diagram bunga arus (*currentrose*). Dominasi arah di setiap

Tabel 1. Data Kecepatan Arus Pada Stasiun 1 (ADCP Sontek) Di Perairan Selat Lembeh Bitung

Layer Perekaman Data ADCP	Kedalaman	Kecepatan Max	Kecepatan Min	Kecepatan Rata-rata
(Cell)	(m)	(m/det)	(m/det)	(m/det)
Cell 1	17	1,412	0,0003	0,53
Cell 3	13,8	1,761	0,0012	0,65
Cell 5	10,6	1,975	0,0008	0,74
Cell 6	9	2,002	0,0006	0,76
Cell 8	5,8	1,93	0,0024	0,68
Cell 10	2,6	2,001	0,00001	0,77

kedalaman perairan dapat dilihat dengan bantuan *current rose* berdasarkan tingkat volume datanya. Input data yang dibutuhkan untuk diagram *current rose* adalah kecepatan dan arah arus. Pola arus tersebut dapat dilihat dalam diagram *current rose* di bawah ini (Gambar 6).

Konversi data arus hasil pengukuran pada Stasiun 1 menjadi rapat daya disajikan dalam Tabel 2. Rapat daya didapat dari penjumlahan data rapat daya setiap perekaman dikalikan selama waktu pengukuran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 1 berkisar antara 0,00001 m/detik sampai dengan 2,002 m/detik, sedangkan Rapat Dayanya rata-rata sebesar 4,416 kW/m². Konversi data arus hasil pengukuran pada Stasiun 2 menjadi Rapat Daya disajikan dalam tabel dan gambar di bawah ini (Tabel 3).

Tabel 2. Data Potensi Rapat Daya Rata-Rata Stasiun 1 (ADCP Sontek) di Perairan Selat Lembeh Bitung Sulawesi Utara

Kedalaman	Rapat Daya
Meter	Watt/m ²
Cell 1 - 17 m	1957,472
Cell 3 - 13,8 m	3763,872
Cell 5 - 10,6 m	5418,576
Cell 6 - 9 m	5801,599
Cell 8 - 5,8 m	3833,564
Cell 10 - 2,6 m	5724,446

Tabel 3. Data Kecepatan Arus Pada Stasiun 2 ADCP Nortek di Perairan Selat Lembeh Bitung

Layer Perekaman Data ADCP	Kedalaman	Kecepatan Max	Kecepatan Min	Kecepatan Rata-rata
(Cell)	(m)	(m/det)	(m/det)	(m/det)
Cell 1	31,09	0,00675	0,00002	0,00163
Cell 3	28,08	0,00102	0,00006	0,00271
Cell 5	17,55	0,00829	0,00005	0,00176
Cell 6	13,04	0,00866	0,00001	0,00163
Cell 8	8,53	0,00561	0,00002	0,00158
Cell 10	2,51	0,02167	0,00002	0,00138

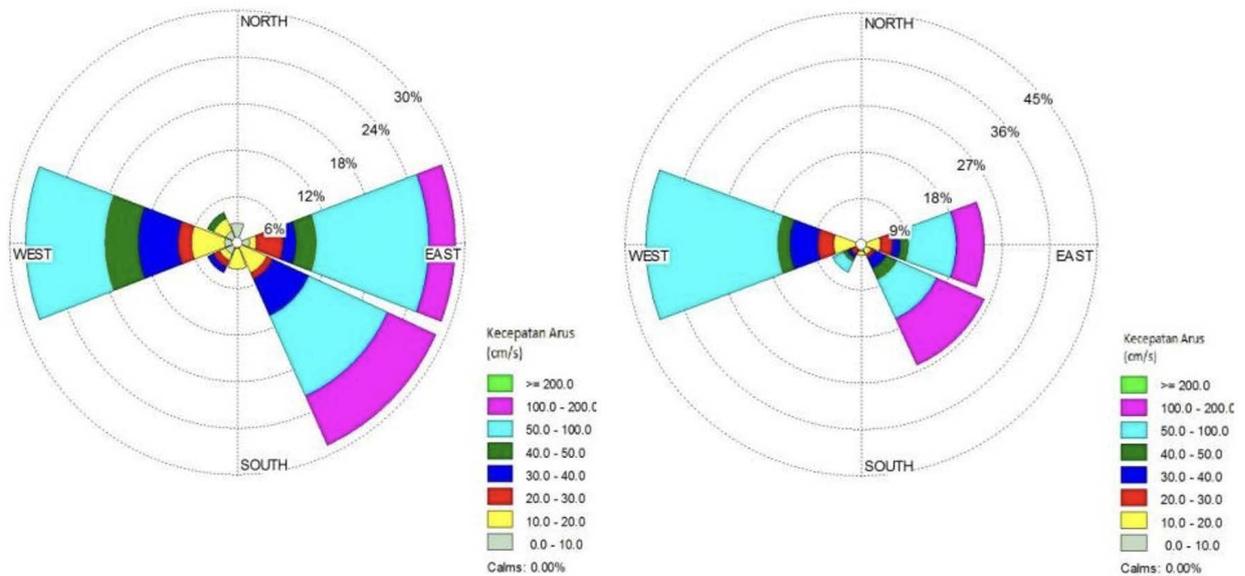
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 2 berkisar antara 0,00001 - 0,02 m/det, sedangkan rapat dayanya rata-rata sebesar 0,131 kW/m². Diagram arah arus pada Stasiun 2 ADCP Nortek (Gambar 9).

Untuk mengetahui sebaran kecepatan arus di beberapa lokasi, dilakukan model verifikasi kecepatan arus pada saat periode *spring tide* pada Stasiun 1 (Gambar 10).

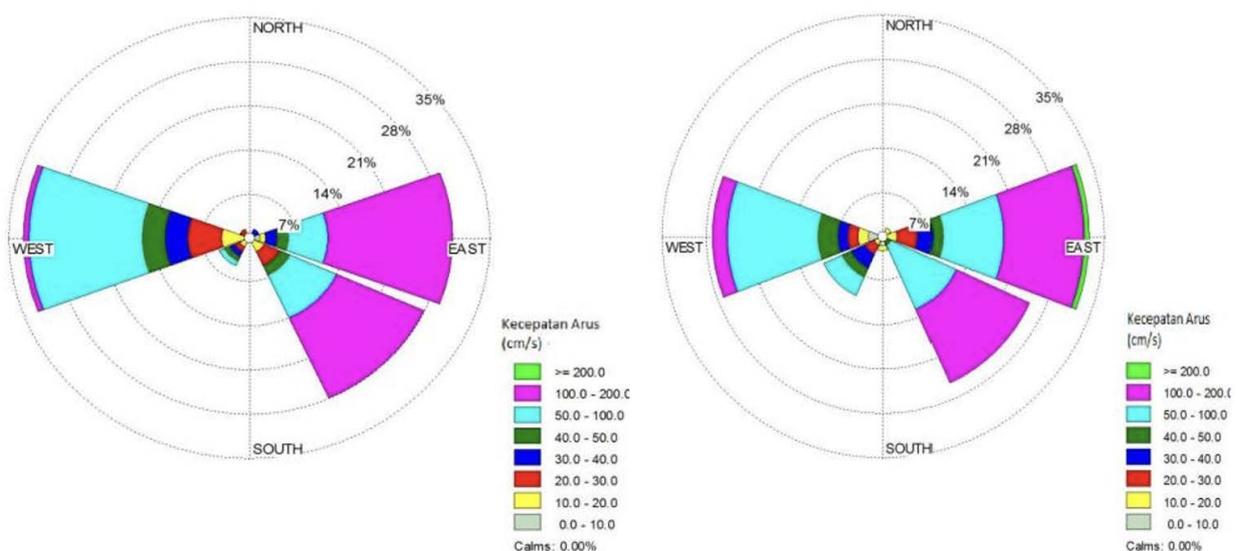
Di samping itu juga dilakukan perbandingan antara kecepatan arus pasang surut hasil simulasi dengan kecepatan arus total hasil pengukuran pada Stasiun 2.

Tabel 4. Data Potensi Rapat Daya Stasiun 2 ADCP Nortek Perairan Selat Lembeh Bitung Sulawesi Utara

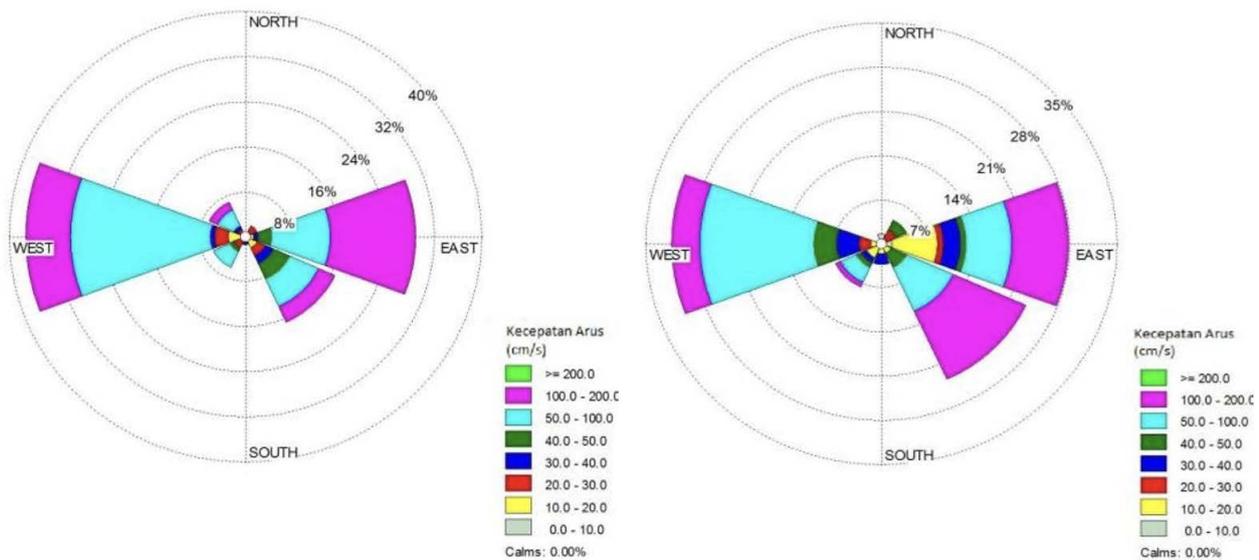
Kedalaman	Rapat Daya
Meter	Watt/m ²
Cell 1 – 31.09 m	96,05
Cell 3 – 28.08 m	353,08
Cell 5 – 17.55 m	101,36
Cell 6 – 13.04 m	79,78
Cell 8 – 8.53 m	67,35
Cell 10 - 2.51 m	92,38



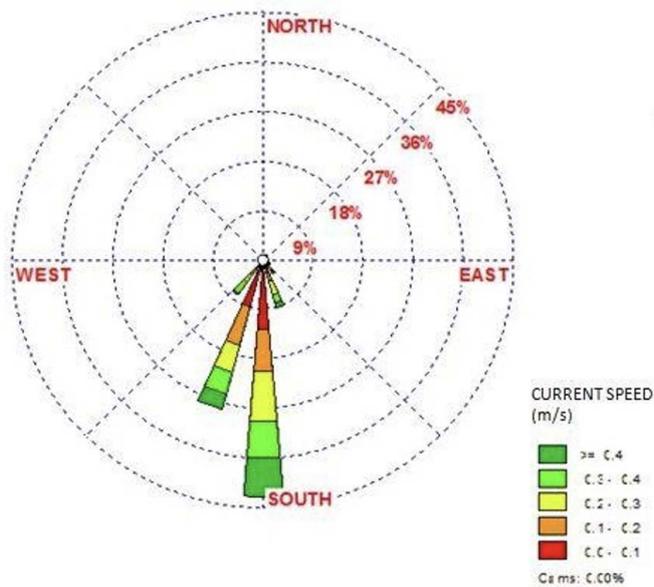
Gambar 6. Currentrose Stasiun 1 pada cell 1 kedalaman 17 m dan pada cell 3 kedalaman 13,8 m.



Gambar 7. Currentrose Stasiun 1 pada cell 5 kedalaman 10,6 m dan pada cell 6 kedalaman 9 m.



Gambar 8. Currentrose Stasiun 1 pada cell 8 kedalaman 5,8 m dan pada cell 10 kedalaman 2,6 m.



Gambar 9. Diagram arah arus pada Stasiun 2 ADCP Nortek.

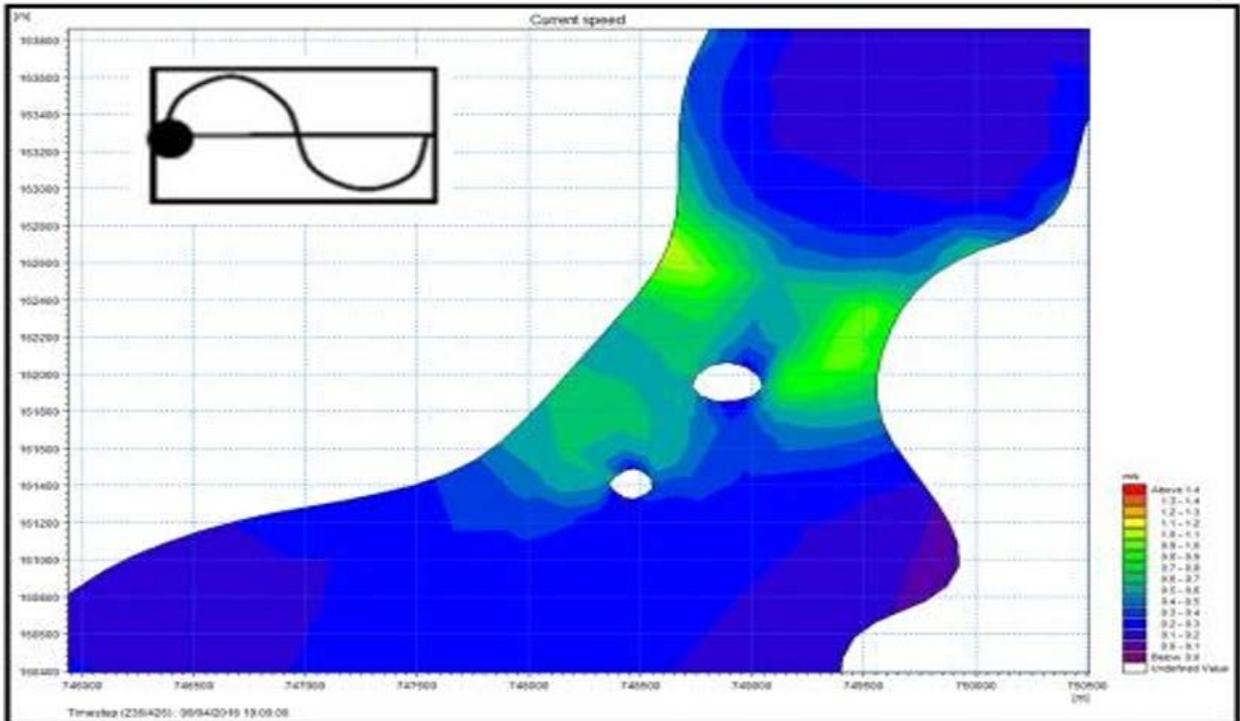
Berdasarkan pemodelan, verifikasi dan perbandingan kecepatan arus pasang surut tersebut menunjukkan bahwa kecepatan arus di Selat Lembeh bertambah pada saat menuju pasang dan menuju surut. Secara horizontal memperlihatkan distribusi kecepatan arus di daerah penelitian tidak merata. Hasil pengukuran kecepatan arus pada Stasiun 1 berkisar antara 0,00001 - 2,002 m/det, yang menghasilkan rapat daya rata-rata sebesar 4,416 kW/m². Sedangkan pada Stasiun 2 kecepatan arus berkisar antara 0,00001 - 0,02 m/det, yang menghasilkan rapat daya rata-rata sebesar 0,131 kW/m². Berdasarkan formulasi Fraenkel (2002), energi yang dihasilkan dari pergerakan arus sangat tergantung pada kecepatan arus itu sendiri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 1 lebih besar daripada di Stasiun 2. Durasi lamanya kecepatan arus 2 m/detik rata-rata adalah 1,5 - 2 jam, sesuai dengan

lamanya arus menjelang pasang dan menuju surut. Sementara pada saat pasang maksimum dan surut maksimum kecepatan arus relatif nol (*slack water*). Oleh sebab itu secara teknis lokasi ini direkomendasikan untuk lokasi PLTAL skala kecil. Hal ini didukung oleh jarak ke darat lebih dekat sehingga instalasi kabel bawah laut dapat terkoneksi dengan jaringan listrik di darat baik ke Bitung maupun ke daratan Pulau Lembeh. Pemasangan instalasi kabel bawah laut sangat mahal dan memerlukan studi khusus (EMEC, 2013).

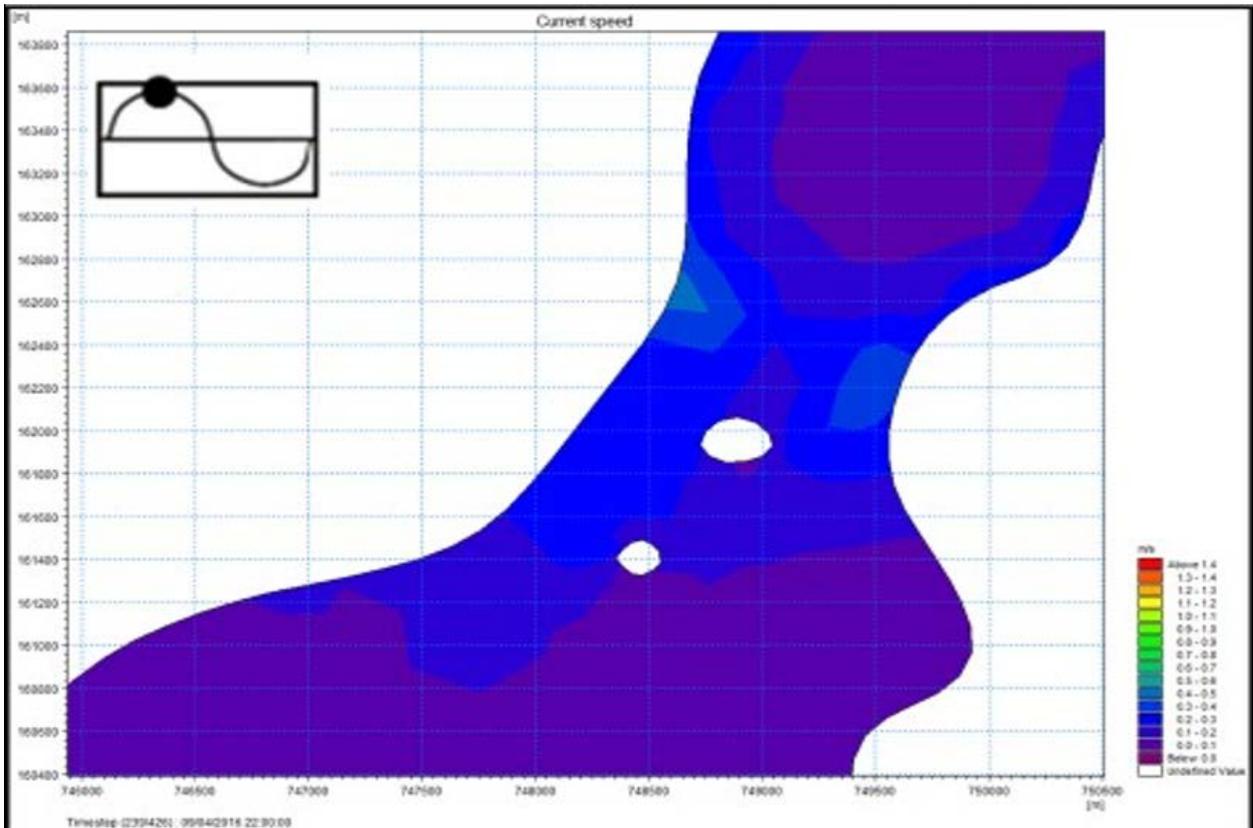
Dinamika arus *insitu* akan terkait secara langsung dengan kondisi pasang surutnya (Zhou Z., 2014). Oleh karena tipe pasang surut di wilayah perairan Selat Lembeh termasuk tipe semidiurnal (dua kali pasang dan dua kali surut) dalam waktu 24 jam maka kecepatan arusnya mengikuti pola fluktuasi pasang dan surutnya. Pada saat kondisi air pasang dan surut arah arus pada Stasiun 1 dominan mengalir ke arah timur mencapai 70% dari total arah arus. Sedangkan pada Stasiun 2 arah arus dominan mengalir ke arah tenggara - selatan mencapai 80% dari total arah arus. Perubahan arah arus hanya terjadi pada saat kedudukan air surut minimum menuju pasang.

Distribusi arah dan kecepatan arus secara vertikal menunjukkan bahwa arah dan kecepatan arus pada setiap kedalaman kolom air relatif tidak seragam. Kecepatan arus yang tidak seragam terutama pada kedalaman kolom air yang berada dekat dengan permukaan air (kedalaman kolom air 2 m) dan kedalaman kolom air yang berada dekat dengan dasar laut (kedalaman kolom air 16 m), seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 3. Sementara untuk kedalaman kolom air yang berada di lapisan pada kedalaman kolom air 10 m, 13,8 m, dan 17 m, kecepatan arusnya relatif seragam (Tabel 1). Kecepatan arus pada kedalaman kolom air 2 m cenderung lebih kuat dibandingkan dengan kedalaman kolom air lainnya,

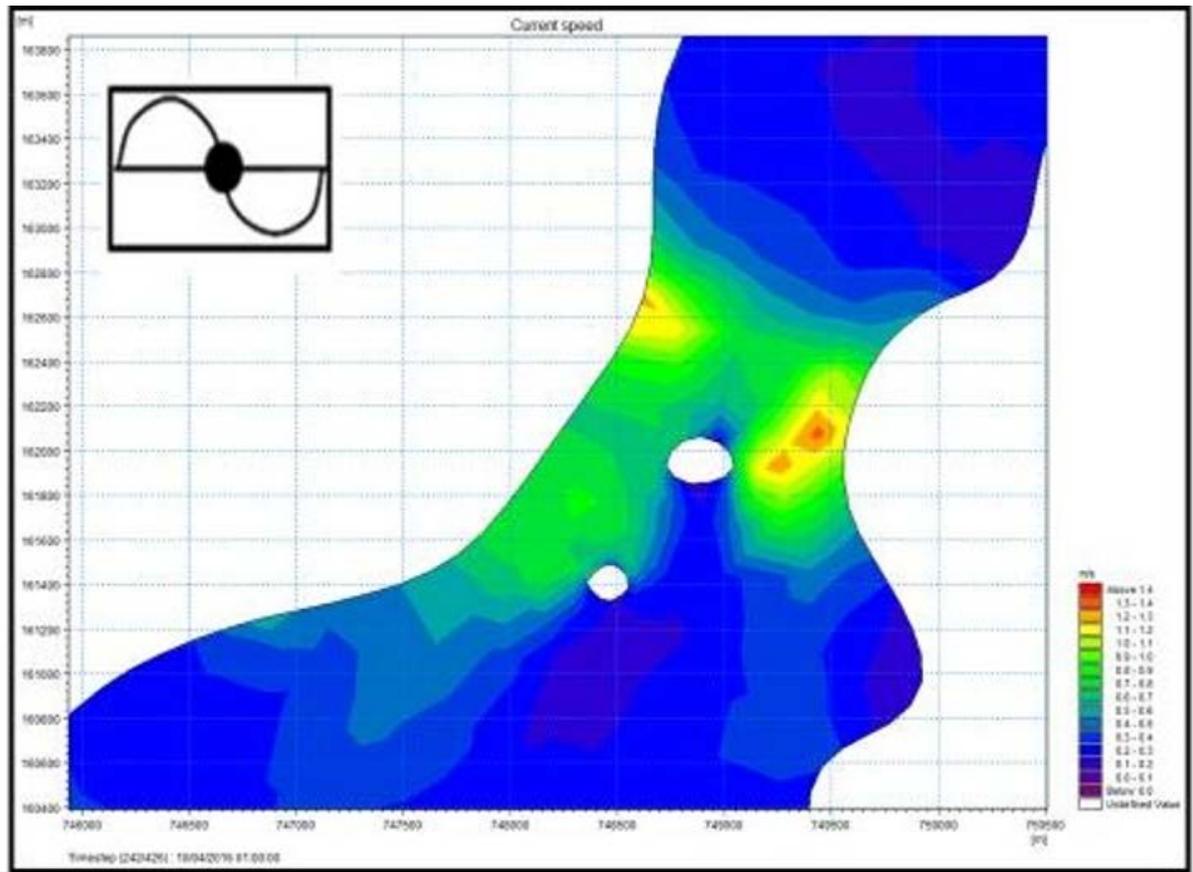
SAAT SPRING



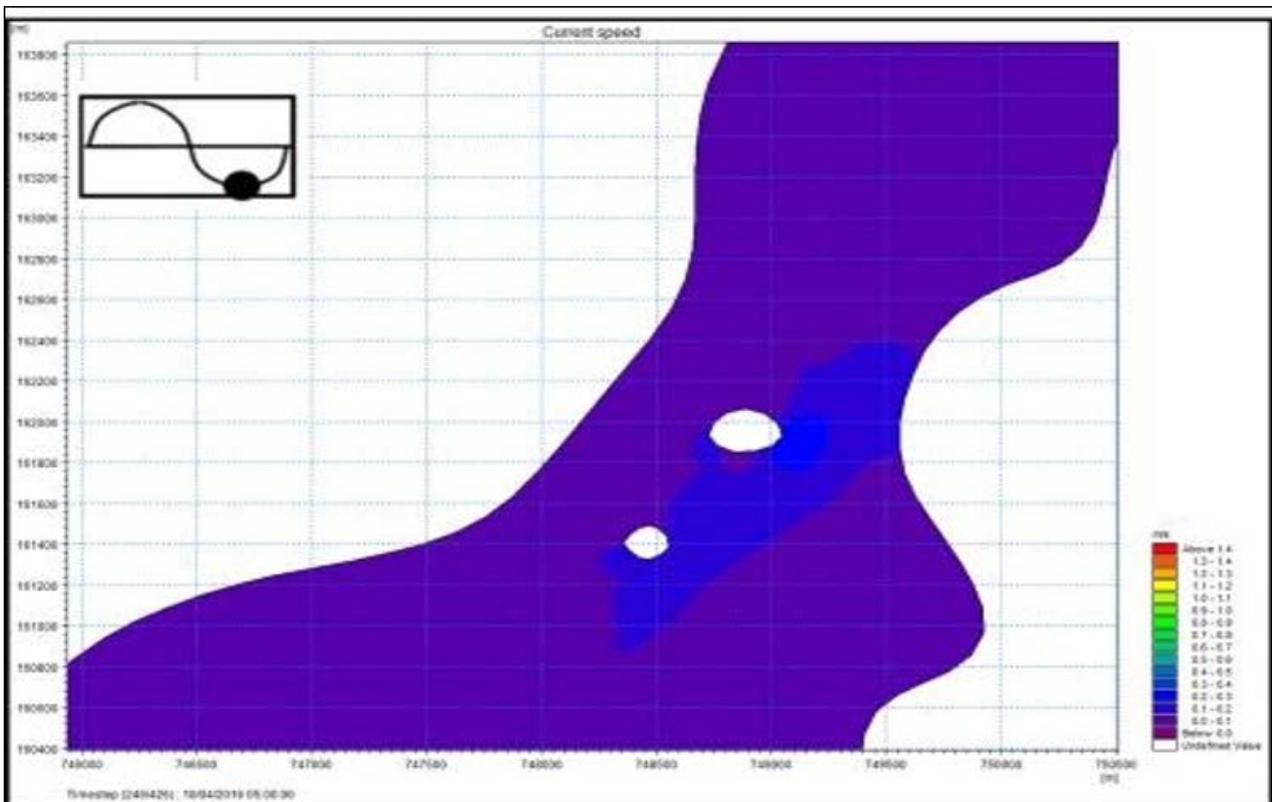
Gambar 10. Model arus pada saat menuju pasang.



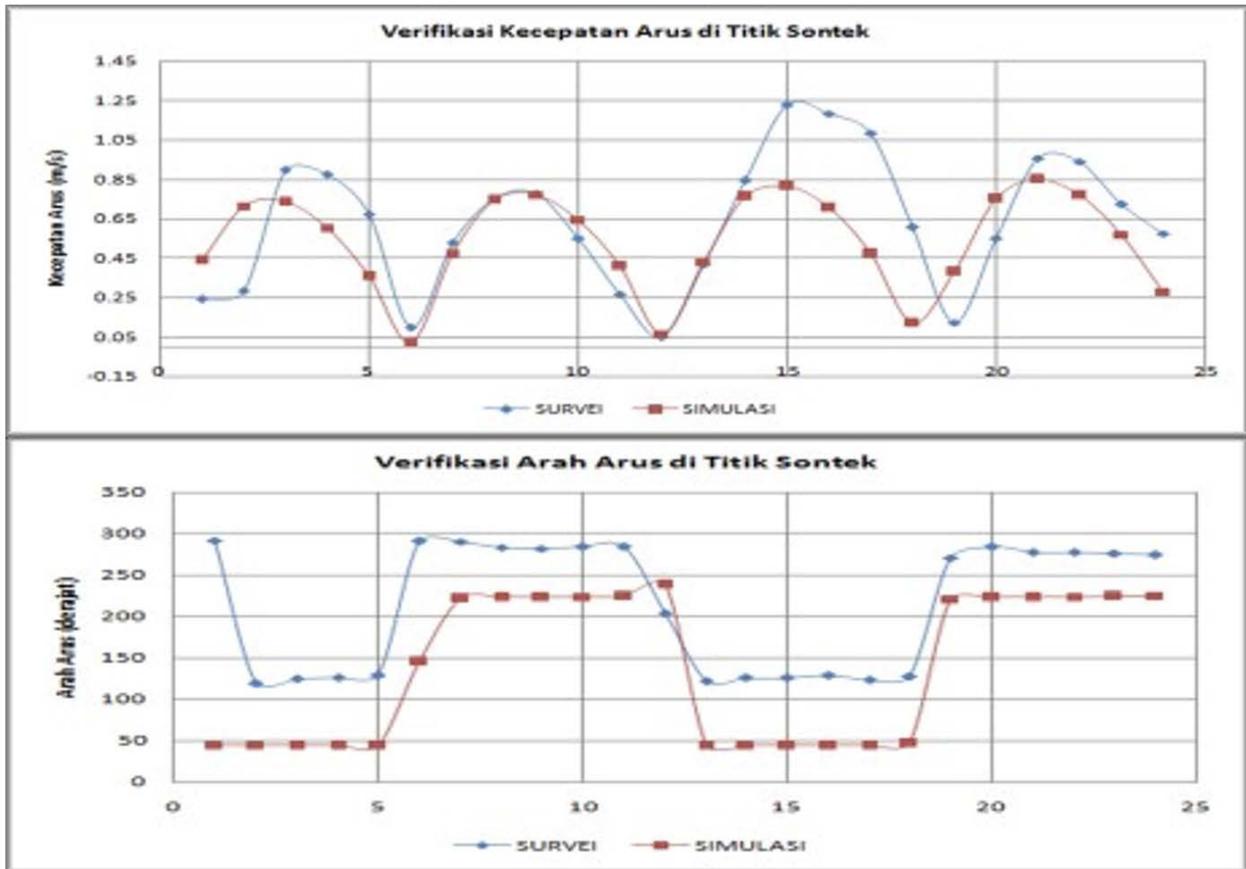
Gambar 11. Model arus pada saat pasang maksimum.



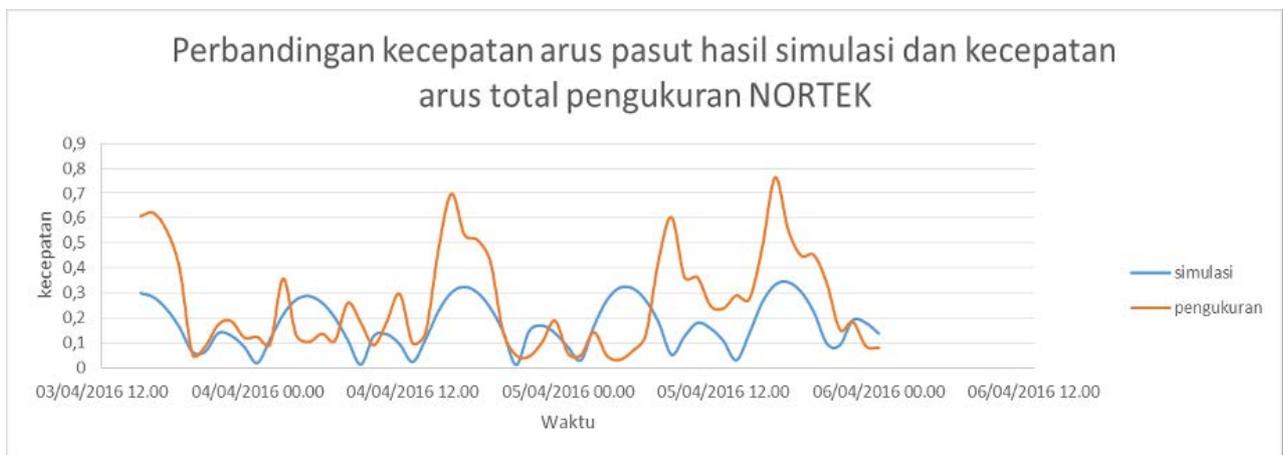
Gambar 12. Model arus pada saat menuju surut.



Gambar 13. Model arus pada saat surut maksimum



Gambar 14. Verifikasi kecepatan dan arah arus pada Stasiun 1.



Gambar 15. Perbandingan antara pengukuran dan simulasi pada Stasiun 2.

terutama pada saat air surut sampai surut minimum. Pada kedalaman kolom air 17 m pengaruh dasar laut terjadi penurunan kecepatan arus yang cukup signifikan dibandingkan dengan kolom air di atasnya. Adapun hasil analisis tipe pasang diperoleh bilangan Formzal $F = 0,47$ yang berada pada range $0,25 < F < 1,25$ yang berarti perairan Selat Lembeh mempunyai tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda atau termasuk ke dalam tipe semi diurnal, yaitu dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam.

Kecepatan arus terkecil terjadi saat terjadi perubahan arah arus, yaitu pada saat kondisi air surut minimum menuju pasang dengan kecepatan arus adalah 0.0 m/det.

Data tipe pasang surut dan kecepatan arus ini dapat dijadikan referensi untuk model turbin sumbu vertikal skala kecil (2 kW) BPPT. Agar turbin dapat beroperasi dengan durasi yang lebih lama, maka sebaiknya turbin ditempatkan pada kedalaman 17 m – 20 di lokasi Stasiun 1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis profil kecepatan arus secara vertikal untuk setiap kedalaman kolom air dan bentuk profil kedalaman laut, maka lokasi yang memungkinkan untuk penempatan turbin PLTAL skala

kecil (2 kW) BPPT adalah di lokasi Stasiun 1. Lokasi ini bukan jalur pelayaran, bukan daerah penangkapan ikan, jarak terhadap pantai Pulau Lembeh sekitar 500 m, sedangkan jarak terhadap daratan Kota Bitung sekitar 100 m. Morfologi dasar laut pada kedalaman 20 m relatif datar, dan lokasinya terlindung dari pengaruh gelombang langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Hedi Hidayat, M.Si (Kepala Puslitbang Geologi Kelautan) dan rekan-rekan satu tim, atas bantuan dan kerjasamanya dalam penelitian di Selat Lembeh Sulawesi Utara.

DAFTAR ACUAN

- EMEC, 2013, *Pfow enabling actions project subsea cable lifecycle study*, The European Marine Energy Centre Ltd.
- Marta, D. Rahuna, 2011, *Vertical axis marine current turbine development in Indonesia*, Hydrodynamic Laboratory – Surabaya for Tidal PowerPlant, BPPT, Surabaya.
- Fajar, Purwanto, Indrayanti, 2014, Kajian potensi arus laut sebagai energi alternatif pembangkit listrik di perairan sekitar Jembatan Suramadu Selat Madura, *Jurnal Oseanografi*, Vol. 3, No. 3, Undip, Semarang.
- Firdaus, Kusumastanto, Nurjaya, 2014, Analisis kelayakan teknis dan finansial pengembangan energi arus laut di Selat Madura, *Jurnal Aplikasi Manajemen*, Vol. 12, No. 3, IPB, Bogor.
- Fraenkel P.L., 2002. Power from marine currents. *Proc Instn Mech Engrs* Vol 216 Part A: J Power and Energy. pp: 1-14.
- Ilahude, D., Raharjo, P., Yuningsih, A., Yosi, M., Suherman, I., 2016, *Laporan penelitian potensi energi arus laut di perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara*, PPPGL, Bandung.
- Sornes K., 2010, *Small scale water current turbines for river applications*, ZeroEmission Resource Organisation, Oslo.
- Thake J., 2005, *Development installation and testing of a large scale tidal current turbine*, IT Power, pp. 19-26, 33-43.
- Zhou Zhibin, 2014, *Modeling and power control of a marine current turbine system with energy storage devices*, Thesis, Universite de Bretagne Occidentale, French.
- Kompas, edisi 30 Maret 2013, Turbin arus laut di pasang di Suramadu

MIKROFAUNA (OSTRAKODA) DARI TELUK BALIKPAPAN: IMPLIKASINYA UNTUK INTERPRETASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN

MICROFAUNA (OSTRACODA) FROM THE BALIKPAPAN BAY: ITS IMPLICATION FOR INTERPRETING DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS

Kresna Tri Dewi^{1*} dan Yusuf Adam Priohandono²

¹ Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung-40122

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

*kresna.tri@esdm.go.id

Diterima : 28-09-2022 , Disetujui : 20-02-2023

ABSTRAK

Studi mikrofauna (ostrakoda) dilakukan terhadap 25 sampel sedimen dari Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur yang diambil pada kedalaman 1,5- 27 m. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui keragaman dan kelimpahan ostrakoda sebagai acuan dalam menginterpretasi lingkungan pengendapan mewakili perairan marginal. Hasil identifikasi menunjukkan 62 spesies ostrakoda yang didominasi oleh ostrakoda laut dangkal: *Hemicytheridea reticulata*, *Cytherella semitalis*, dan *Alocopocythere kendengensis*. Kehadiran *Argilloecia*, *Leptocythere*, *Miocyprideis*, dan *Pontocythere* dalam jumlah sedikit menunjukkan perairan transisi/marginal. Kelimpahan ostrakoda rendah terkonsentrasi di bagian tengah teluk yang berkaitan dengan hidrodinamika dan jenis sedimen. Kelimpahan tertinggi terjadi di perbatasan antara teluk bagian tengah dan bagian luar sebagai pusat akumulasi spesimen dari berbagai sumber. Variasi keragaman dan kelimpahan ostrakoda Resen di Teluk Balikpapan ini dapat dipertimbangkan dalam upaya menginterpretasi lingkungan pengendapan di Indonesia. Data dan informasi ostrakoda ini juga sebagai data rona awal dalam memantau perubahan lingkungan beberapa dekade ke depan.

Kata kunci: ostrakoda, keragaman, distribusi, Teluk Balikpapan, Kalimantan Timur

ABSTRACT

Recent Ostracoda was studied from 25 sediment samples that were collected from Balikpapan Bay, East Kalimantan at 1.5-27 m water depth. The purpose of this study is to determine the diversity and assemblage of ostracoda as a reference in reconstructing the depositional environment representing marginal waters. A total of 62 species have been identified that dominated by shallow marine ostracods of *Hemicytheridea reticulata*, *Cytherella semitalis*, *Alocopocythere kendengensis*. The presence of *Argilloecia*, *Leptocythere*, *Miocyprideis*, and *Pontocythere* in low number indicate a transition/marginal environment. The low assemblages are concentrated in the middle bay that may correlates with hydrodynamic aspects and sediment types. The highest ostracod assemblage occurs in a site between middle and outer parts of the bay as accumulated ostracod specimens from many sources. The various diversity and distribution of the ostracoda from the Balikpapan Bay should be considered for reconstructing of environmental deposition in Indonesia. The data and information of this ostracoda may also as a baseline in monitoring in the future decades.

Keyword: ostracoda, diversity, distribution, Balikpapan Bay, East Kalimantan

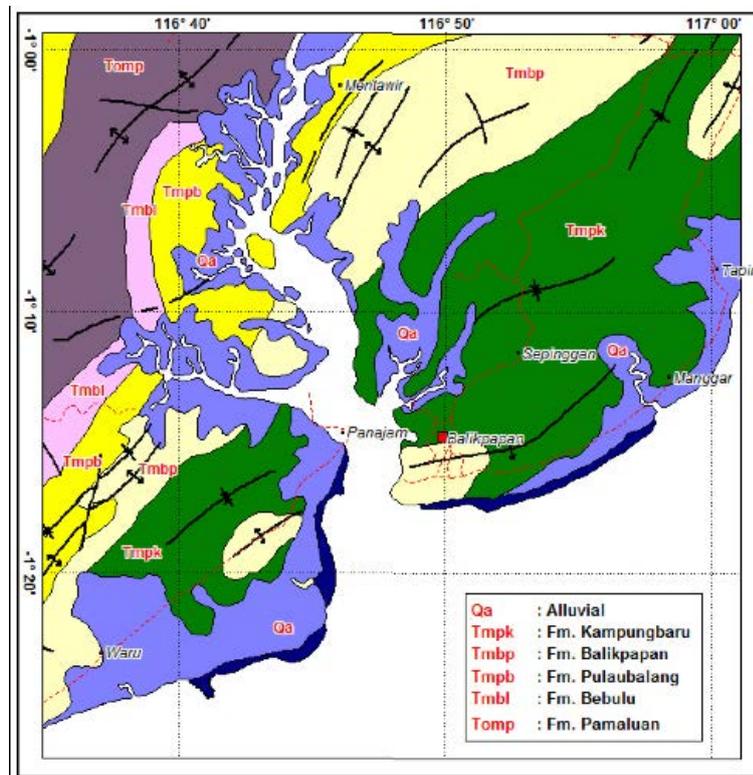
PENDAHULUAN

Mikrofauna, khususnya ostrakoda merupakan salah satu obyek dalam bidang studi mikropaleontologi untuk menentukan umur dan interpretasi lingkungan pengendapan. Ostrakoda Resen banyak digunakan sebagai indikator perubahan lingkungan berbagai perairan mulai dari air tawar (danau, sungai, kolam, sawah, gua), perairan payau hingga perairan asin (Samir, 2000, Yasuhara dan Yamazaki, 2005) dan sebagai acuan dalam menginterpretasi lingkungan purba. Data dan informasi ostrakoda Resen dari berbagai tipe perairan di Indonesia telah tersedia namun masih sedikit yang dilakukan di perairan transisi antara air tawar dan air asin. Carbonel dan Moyes (1987) menggunakan data ostrakoda dari Delta Mahakam untuk melacak evolusi lingkungan purba di Delta Mahakam. Kemudian, di lokasi yang sama, Carbonel (1988) fokus pada studi terkait perubahan morfologi dari satu spesies, *Neomonoceratina microreticulata*, yang ditunjukkan oleh gradasi ornamentasi cangkang dari dekat pantai hingga laut lepas. Beberapa studi ostrakoda dari perairan transisi atau lingkungan marginal menunjukkan bahwa mikrofauna ini mempunyai potensi untuk pemantauan lingkungan dan analisis lingkungan purba. Menurut Carbonel (1988), respons ostrakoda terhadap perubahan lingkungan perairan tersebut dapat dianalisis melalui empat cara yaitu 1) secara kuantitatif dengan menghitung jumlah spesies dan individu; 2) secara kualitatif menggunakan spesies tertentu dan asosiasi beberapa spesies; 3) menggunakan satu spesies melalui polimorfisme dan 4) dengan fauna *allochthonous*. Hal ini berkaitan dengan sensitivitas

ostrakoda terhadap perubahan parameter ekologi seperti salinitas, suhu, oksigen, kandungan kimia, kondisi hidrodinamika, karakteristik substrat/sedimen, iklim dan variasi muka laut serta ketersediaan nutrisi (Frenzel dan Boomer, 2005).

Studi ostrakoda ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik komposisi ostrakoda di Teluk Balikpapan sebagai perairan semi tertutup (*semi enclosed waters*). Hasil studi ini merupakan bagian dalam membangun basis data sebagai acuan dalam menginterpretasi lingkungan pengendapan mewakili perairan transisi di Indonesia. Selain itu juga dapat digunakan sebagai data rona awal dalam pemantauan lingkungan perairan beberapa dekade ke depan. Perairan ini secara tidak langsung akan terpengaruh akibat masuknya material asal daratan dengan dibangunnya Ibu Kota Negara di Kalimantan Timur di sekitar hulu Teluk Balikpapan.

Teluk Balikpapan, terletak di Kalimantan Timur mempunyai luas perairan sekitar 16.000 hektar dan mendapat pasokan air tawar dari sekitar 50 sub-daerah aliran sungai (Sub DAS) menuju perairan terbuka Selat Makassar. Teluk ini mempunyai fungsi ekologi yang sangat unik dengan adanya tiga ekosistem utama yaitu bakau, padang lamun dan terumbu karang. Kedalaman air kurang dari 30 m, salinitas antara 31,5-34,6 ‰ kecuali di sekitar muara sungai mempunyai salinitas rendah (Adyaksi, drr., 2016). Dasar perairan ditutupi oleh jenis sedimen yang cukup bervariasi terdiri dari lanau, lanau pasiran, pasir lanauan, lumpur pasiran sedikit kerikilan, lumpur kerikilan, pasir lumpuran kerikilan, pasir sedikit kerikilan, pasir lumpuran sedikit kerikilan dan lumpur pasiran Priohandono drr. (2011).



Gambar 1. Peta Geologi Teluk Balikpapan (Hidayat dan Umar, 1994)

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Balikpapan (Hidayat dan Umar, 1994), batuan di sekitar Teluk Balikpapan (Gambar 1) dari umur ke tua ke muda meliputi:

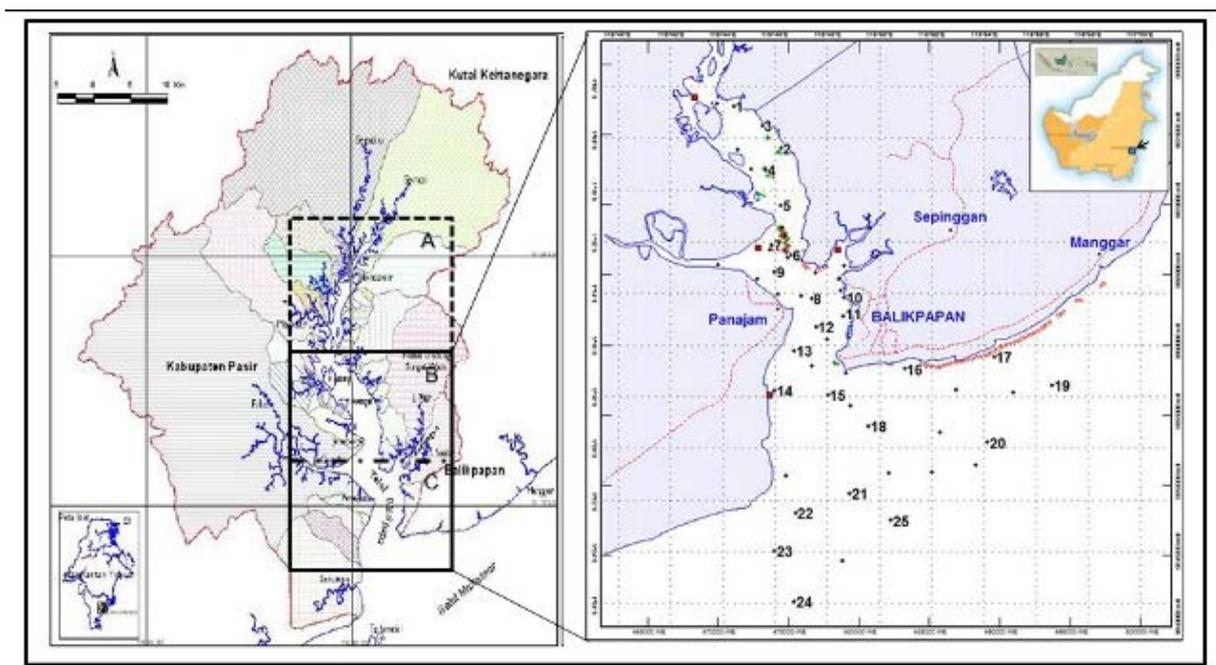
- Formasi Pamaluan (Tomp): Batulempung dan serpih dengan sisipan napal, batupasir dan batugamping. Umur Oligosen Akhir–Miosen Tengah, lingkungan laut dalam dengan ketebalan 1500-2500 m.
- Formasi Bebulu (Tmbl): Batugamping dengan sisipan batulempung lanauan dan sedikit napal. Umur Miosen Awal, terendapkan di lingkungan laut dangkal dengan ketebalan mencapai 1900 m
- Formasi Pulaubalang (Tmpb): Perselingan batupasir kuarsa, batupasir dan batulempung dengan sisipan batubara. Umur Miosen Tengah, lingkungan pengendapan sublitoral dangkal dan tebal 900 m.
- Formasi Balikpapan (Tmbp): Perselingan batupasir kuarsa, batulempung lanauan dan serpih dengan sisipan napal batugamping dan batubara. Umur Miosen Tengah bagian atas, diendapkan pada litoral – laut dangkal dan mempunyai ketebalan 800 m.
- Formasi Kampungbaru (TmPk): Batulempung pasiran, batupasir kuarsa, batulanau, sisipan batubara, napal, batugamping dan lignit. Umur Miosen Akhir–Pliosen. Formasi ini diendapkan di lingkungan delta dan laut dangkal dengan tebal 700-800 m.
- Aluvium (Qa) menutupi sebagian besar kawasan tepi teluk yang terdiri dari kerakal, kerikil pasir, lempung dan lumpur sebagai endapan teluk, rawa, pantai dan delta.

Jenis batuan umumnya berupa batuan sedimen dan batuan sedimen bersifat gampingan (Formasi Balikpapan) relatif lebih kompak dan keras dibandingkan batuan

lainnya. Sedangkan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian adalah struktur antiklinorium berarah dominan baratdaya – timurlaut.

METODE

Studi ostrakoda menggunakan sampel sedimen hasil kegiatan Tim Kelompok Program Lingkungan dan Kebencanaan Geologi Kelautan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (sekarang menjadi Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan) Tahun 2011. Pengambilan 25 sampel sedimen menggunakan pemercontoh comot (*grab sampler*) di bagian tengah (*middle bay*) yang dikelilingi oleh banyak sungai dan bagian luar teluk (*outer bay*) berhadapan dengan Selat Makassar (Gambar 2). Tidak tersedia sampel dari bagian dalam teluk (*inner bay*) yang terletak jauh menjorok ke arah hulu atau daratan. Posisi setiap stasiun pengambilan sampel sedimen, kedalaman dan jenis sedimen disajikan pada Tabel 1. Sesaat setelah diperoleh sampel sedimen di lapangan, sebagian permukaan sampel sedimen dimasukkan ke dalam tabung plastik dan ditambah larutan *Rose Bengal*. Proses pewarnaan ini untuk mendapatkan individu ostrakoda yang masih hidup saat pengambilan sampel sebagai data *in situ*. Di laboratorium preparasi, sampel dicuci menggunakan ayakan berukuran bukaan 0,063 mm dan dikeringkan dalam oven. Analisis ini diawali dengan melakukan penjentikan spesimen (*picking*) dari partikel sedimen lain dan diletakkan pada *fossil assemblage slide* yang telah diolesi lem *tragacanth* sebagai perekat. Membuat kumpulan koleksi setiap spesies yang diwakili oleh beberapa spesimen atau individu yang utuh dan bersih. Identifikasi dilakukan mengacu Whatley dan Zhao (1988 dan 1989), Yassini dan Jones (1994), dan Dewi



Gambar 2. Kiri A. Bagian Dalam Teluk; Lokasi Studi (B, Bagian Tengah, dan C Bagian Luar Teluk) Kanan. Stasiun (St.) pengambilan sampel sedimen di Teluk Balikpapan

Tabel 1. Posisi, kedalaman, dan jenis sedimen setiap stasiun pengambilan sampel di Teluk Balikpapan

Stasiun (St.)	Koordinat		Kedalaman (m)	Salinitas ‰	Jenis sedimen (Klasifikasi Folk, 1981)
	Lintang	Bujur			
1	-1.1127	116.7404	3,6		Pasir lanauan
2	-1.1398	116.7707	4,0	30.30	Pasir lanauan
3	-1.1252	116.7584	8,0	32.40	Lanau pasiran
4	-1.1536	116.7608	1,5		Pasir lumpuran kerikilan
5	-1.1769	116.7703	15,0	33.80	Lumpur kerikilan
6	-1.2085	116.7769	26,5		Lanau pasiran
7	-1.2022	116.7646	1,5		Pasir sedikit kerikilan
8	-1.2059	116.7726	1,8		Pasir lumpuran sedikit kerikilan
9	-1.2195	116.7663	7,1		Lanau pasiran
10	-1.2360	116.8109	2,0	30.00	Lanau pasiran
11	-1.2480	116.8100	5,0	33.80	Lumpur pasiran
12	-1.2547	116.7928	15,0	32.80	Lumpur kerikilan
13	-1.2704	116.7788	2,0	32.60	Pasir lanauan
14	-1.2959	116.7663	2,0	31.50	Lanau pasiran
15	-1.2987	116.8005	16,5	33.60	Lanau pasiran
16	-1.2817	116.8493	5,0	34.00	Lumpur pasiran sedikit kerikilan
17	-1.2741	116.9064	5,0	33.80	Lumpur kerikilan
18	-1.3191	116.8260	10,0	33.50	Lanau pasiran
19	-1.2927	116.9435	7,0	33.60	Lanau
20	-1.3293	116.9020	13,0	34.60	Lanau pasiran
21	-1.3621	116.8141	6,0	33.50	Pasir lanauan
22	-1.3749	116.7797	4,0	33.80	Lanau pasiran
23	-1.3995	116.7660	4,0	33.80	Pasir lanauan
24	-1.4318	116.7787	19,0	34.20	Lanau pasiran
25	-1.3796	116.8406	9,0	34.70	Lanau pasiran

(1997). Kemudian dilakukan penghitungan spesimen dari setiap spesies yang ada dalam satu stasiun. Pengolahan data menggunakan peranti lunak PAST (*Paleontological Statistics*) dari Hammer dr. (2001).

HASIL

Ostrakoda ditemukan di semua stasiun dengan jumlah cukup bervariasi dari 2 hingga 327 spesimen dengan ketentuan satu karapas (*carapace*= *C*) dihitung dua cangkang (*valves*= *V*) (Whatley dan Zhao, 1987, Gildeeva, dr., 2019). Jumlah spesimen terendah (dua) ditemukan pada Stasiun (St.) 7, 12 dan 25 yang terletak di bagian tengah dan luar teluk. Jumlah spesimen tertinggi lebih dari 300 ditemukan di St. 24 yang terletak di laut lepas. Spesimen ostrakoda yang diamati umumnya dalam keadaan mati dan dalam bentuk terlepas (*valve*= *V*) kecuali di St. 6 dan St. 17 ditemukan cangkang berwarna merah yang menunjukkan masih hidup saat pengambilan sampel dan tubuh bagian lunak masih utuh.

Dari hasil identifikasi ostrakoda diperoleh 62 spesies dan tiga yang belum teridentifikasi dengan tepat dan didominasi oleh *Hemicytheridea reticulata*, *Cytherella semitalis*, *Alocopocythere kendgensis*, *Loxococoncha* spp., dan *Neomonoceratina* (Tabel 2). Komposisi spesies ostrakoda merupakan spesies perairan laut dangkal yang umum ditemukan di Paparan Sunda seperti *Hemicytheridea*, *Cytherella*, *Alocopocythere*, *Cytherelloidea*, *Neomonoceratina* dan *Stigmatocythere*.

Selain itu juga hadir *Leptocythere*, *Argilloecia*, *Myocyprideis* dan *Pontocypris* dalam jumlah sedikit yang umumnya ditemukan di air payau. Beberapa spesies mempunyai kelimpahan yang sangat tinggi dan mempunyai sebaran cukup luas (Gambar 3) yaitu:

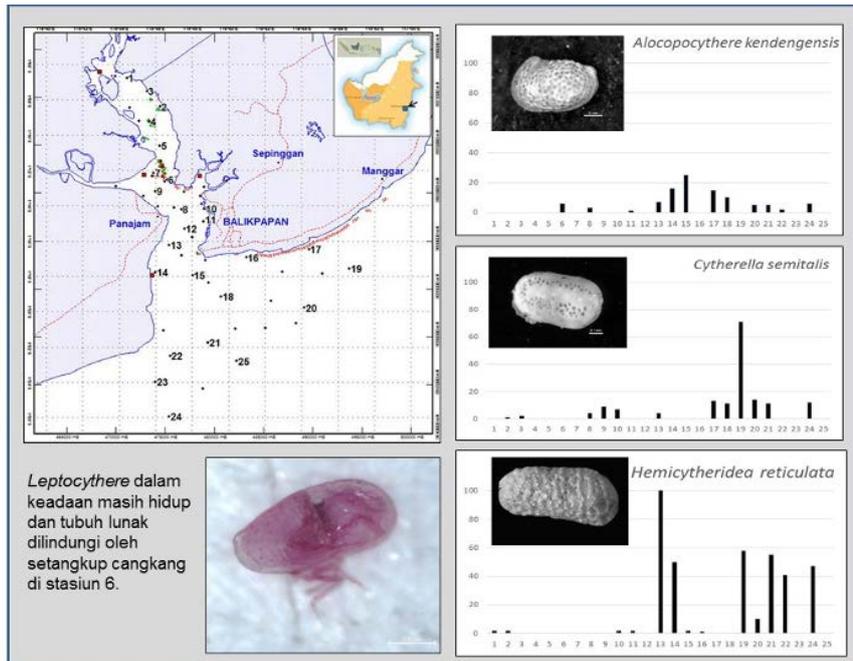
- *Hemicytheridea reticulata* yang dijumpai di 13 stasiun dengan jumlah bervariasi dari 1 hingga 129 spesimen. Jumlah tertinggi ditemukan di St.13 pada kedalaman 25 m yang terletak di batas antara kawasan bagian dalam dan luar teluk.
- *Cytherella semitalis* terdapat di 14 stasiun dengan jumlah 1-71 spesimen. Jumlah tertinggi ditemukan di St. 19 di kedalaman 8 m yang terletak di bagian luar teluk.
- *Alocopocythere kendgensis* tersebar di 12 stasiun dengan jumlah 1-25 spesimen. Jumlah tertinggi dijumpai di St.15 di sekitar muara menuju laut lepas.

Jumlah spesies terendah (satu spesies) dijumpai di St. 7 yang terletak di bagian tengah teluk dan bagian luar teluk (St. 23 dan St. 25). Jumlah spesies tertinggi (43 spesies) ditemukan di St. 24 yang terletak di laut lepas.

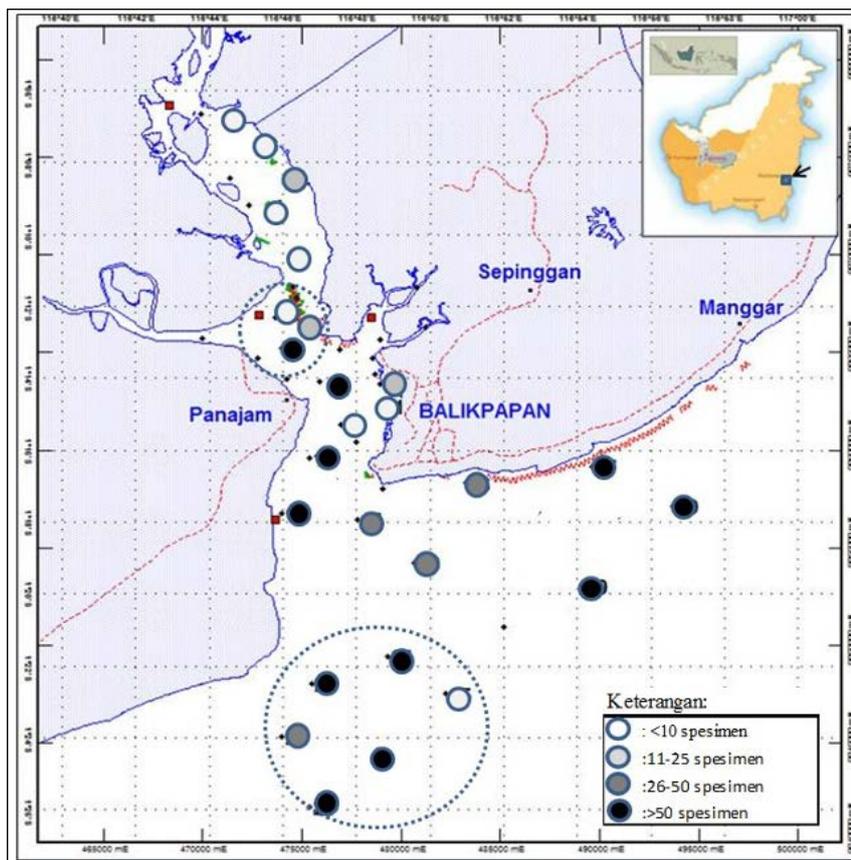
Secara spasial, kelimpahan ostrakoda dikelompokkan menjadi 4 (empat) kelompok yaitu jarang (<10 spesimen), sedang (11-25 spesimen), melimpah (26-50 spesimen) dan sangat melimpah (> 50 spesimen). Sebaran jumlah/kelimpahan spesimen ostrakoda di setiap stasiun disajikan dalam Gambar 4 yang memperlihatkan bahwa kelimpahan ostrakoda secara umum kurang dari 50

Tabel 2. Komposisi dan kelimpahan ostrakoda di Teluk Balikpapan

No	Letak Nomor stasiun Kedalaman (m)	Teluk Balikpapan bagian dalam														Teluk Balikpapan bagian luar										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		3.6	4.0	8.0	1.5	17.0	26.5	1.5	7.1	3.5	8.3	16.0	16.0	25.0	2.9	16.5	6.0	6.0	12.0	8.0	14.0	7.0	6.3	7.5	20.0	9.5
1	<i>Actinocythereis scutigera</i>								1	1				11			6	4		5	4	2		2		
2	<i>Alocopocythere kendengensis</i>					6		3			1		7	16	25		15	10		5	5	2		6		
3	<i>Aglaioocypris</i> sp.																		8	6	4	2		9		
4	<i>Argilloecia</i> sp.												2							1	11	2		3		
5	<i>Atjehella simplicata</i>												3	1							11	6		26		
6	<i>Baltrarella hanai</i>																		1							
7	<i>Bythoceratina paucipunctata</i>													1			5				3			11		
8	<i>Copypus posterosulcus</i>			2		2											8		2	1				2		
9	<i>Cornucoquimba</i> sp.					2										2						2		7		
10	<i>Cushmanidea</i> sp.												7													
11	<i>Cytherella hemipuncta</i>	2	1					1	32	1			12	9	6		2	1	4	2	1					
12	<i>Cytherella incohota</i>		1						12	1								2	22	5	7			6		
13	<i>Cytherella semitalis</i>		1	2				4	9	7			4				13	11	71	14	11			12		
14	<i>Cytherella</i> sp.								41										14					31		
15	<i>Cytherelloidea leroyi</i>		6					2	74						4						12					
16	<i>Cytherelloidea cingulata</i>	1						2		2			7	6										13		
17	<i>Cytherelloidea excavata</i>					2			18				2		2	1	1	1	4							
18	<i>Cytheropteron miurence</i>								10						4	1								2		
19	<i>Hemicytheridea reticulata</i>	2	2							2	2		130	50	2	1			58	10	55	41		47		
20	<i>Hemicytheridea</i> cf. <i>H. reticulata</i>												13	8					4	8	1	4		7		
21	<i>Hemikritha orientalis</i>					2							1		2		2			4	4	4		9		
22	<i>Henryhowella keutapangensis</i>																1			2		7		12		
23	<i>Javanella</i> sp. 1								2				1				2									
24	<i>Keijella klomprensensis</i>					2		1					1			1	4	1		9		7		2		
25	<i>Keijella reticulata</i>																13							5		
26	<i>Keijella</i> sp.							1									6	1		1	2					
27	<i>Keijia labyrinthica</i>							2		1			3		2	2					13	2		6		
28	<i>Leptocythere</i> sp.				2	2											6			2						
29	<i>Loxococoncha paiki</i>								17				19	15	1						8	59		5	2	
30	<i>Loxococoncha</i> sp.												6										5			
31	<i>Mutilus</i> sp.								1																	
32	<i>Myocyprideis</i> sp.								1													1	2			
33	<i>Neocytheretta adunca</i>					2		2	1	1			5	2	5		4	1		9	4	1		1		
34	<i>Neocytheretta murilineata</i>																						2			
35	<i>Neocytheretta novella</i>																4				2			9		
36	<i>Neocytheretta spongiosa</i>								1				2					2		2	2	1		8		
37	<i>Neomonoceratina batavia</i>					2			72				17	10	2		4			1	25	7		18		
38	<i>Neomonoceratina indonesiana</i>																					2		1		
39	<i>Parakrithella</i> sp.									2							3							6		
40	<i>Paranesidea</i> sp.	1														1	1									
41	<i>Paracypris nuda</i>															2		1			4			1		
42	<i>Phlyctenophora orientalis</i>												1					22		2	10	8		40		
43	<i>Pistocythereis bradyiformis</i>								7				1	4	1					1				1		
44	<i>Pistocythereis cribriformis</i>													2	2					1				11		
45	<i>Pistocythereis euplectella</i>												1	4	3						1		1		3	
46	<i>Propontocypris</i> sp.																			4			1			
47	<i>Psammocythere</i> sp.												2					1						1		
48	<i>Semicytherura indonesiana</i>																							1		
49	<i>Stigmatocythere bona</i>					2							4			2		1	2	1	2					
50	<i>Stigmatocythere indica</i>												2		6				3	3						
51	<i>Stigmatocythere kingmai</i>																				4	8				
52	<i>Stigmatocythere</i> sp.													8												
53	<i>Stigmatocythere roesmani</i>														4									1		
54	<i>Stigmatocythere rugosa</i>												10	14					4	1		6		2		
55	<i>Tanella gracilis</i>								4				17					5	1		2	1		1		
56	<i>Venerocythere papuensis</i>		1																							
57	<i>Xestoleberis</i> sp. 1	2		1														2	1	8	2					
58	<i>Xestoleberis</i> sp. 2	2			1								2									8				
59	<i>Xestoleberis</i> sp. 3																								4	
60	<i>Xestoleberis</i> sp.4																				1				4	
61	<i>Xiphichilus</i> sp.													1									2			
62	Unidentified taxon								1						2							3				



Gambar 3. Sebaran ostrakoda dominan dan ostrakoda masih hidup



Gambar 4. Sebaran kelimpahan ostrakoda

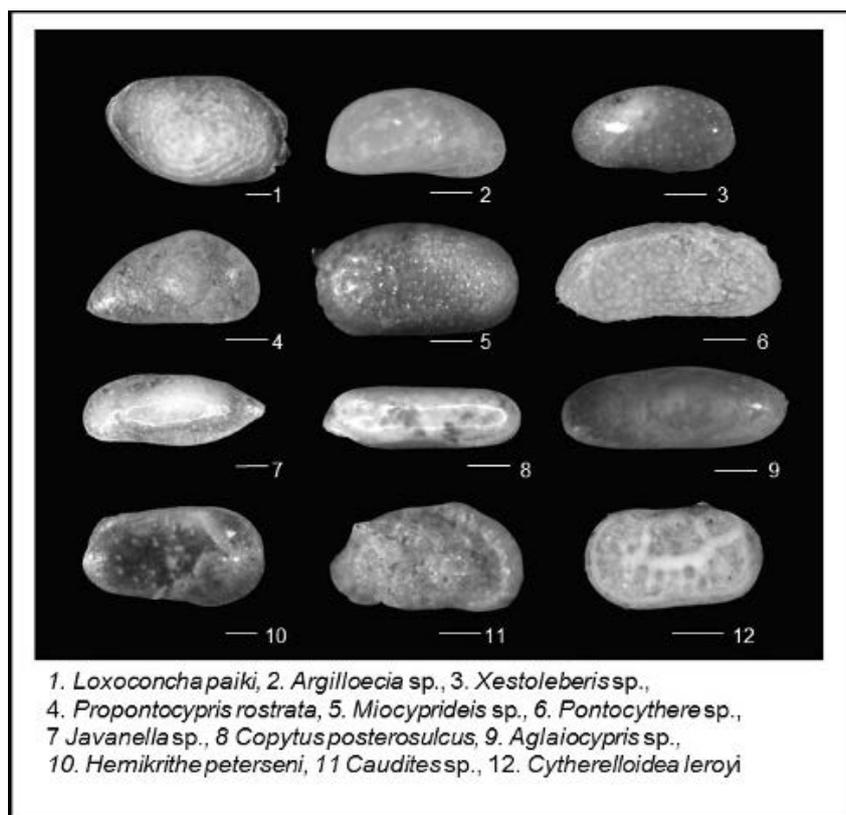
spesimen dan tersebar di bagian tengah teluk. Sedangkan kelimpahan ostrakoda lebih dari 50 spesimen terletak di bagian luar ke arah laut lepas menghadap Selat Makassar dengan perkecualian di St. 25 hanya berisi 2 spesimen. Kelimpahan ostrakoda makin ke arah laut lepas makin tinggi dibandingkan dengan di bagian dalam teluk dengan sedikit anomali. Di laut lepas, ostrakoda ditemukan sangat

jarang di St. 23 dan terletak berdekatan dengan St. 24 namun kandungan ostrakoda sangat melimpah. Di kawasan perbatasan antara bagian tengah dan luar teluk, menunjukkan kelimpahan yang cukup bervariasi dari sedikit hingga sangat melimpah.

Hasil pengolahan data diperoleh nilai indeks diversitas atau keragaman dari Shannon (H') bervariasi

antara 0,64 (St. 4) dan 3,18 (St.24), yang menunjukkan bahwa makin tinggi nilainya maka kondisi dasar perairan makin bagus bagi kehidupan ostrakoda. Nilai keragaman lebih dari 2 umumnya terletak di bagian luar teluk kecuali St. 16, 19, 23, dan 25. Nilai dominansi (D) antara 0.06 dan 1,00 dan keseragaman (E) yang cukup bervariasi (Gambar 4). Keragaman buruk kurang dari 1 yang mencerminkan kondisi lingkungan tidak cocok bagi kehidupan ostrakoda ditemukan di St. 4 dan yang bernilai 0 di St. 7, 25, dan 35. Gambar 5 memperlihatkan beberapa spesies ostrakoda yang ditemukan di Teluk Balikpapan.

Argilloecia, *Leptocythere*, *Paracyris*, *Miocyprideis*, dan *Pontocythere*. Kehadiran *Loxoconcha* spp. menunjukkan keterkaitannya dengan tumbuhan air seperti yang ditemukan di Sungai Kubang Badak, Malaysia dan berasosiasi dengan *Xestoleberis*, *Neomonoceratina*, *Tanella* and *Hemicytheridea* (Faiz, dr., 2017). Kehadiran ostrakoda air payau (*Miocyprideis*) tersebar hingga laut lepas menunjukkan faktor arus sebagai media transportasi ke arah lebih jauh dari asalnya. Ostrakoda yang ditemukan di Teluk Balikpapan dan Sungai Kubang Badak masih didominasi oleh keterdapatannya spesies perairan laut dangkal dan tidak dijumpai ostrakoda air



Gambar 5. Perwakilan ostrakoda yang ditemukan di Teluk Balikpapan (skala garis= 0,1 mm)

PEMBAHASAN

Keragaman dan distribusi ostrakoda di suatu perairan sangat bergantung kepada keragaman jenis faktor lingkungan seperti salinitas, kedalaman, jenis sedimen, suhu, nutrisi dan kondisi hidrodinamika setempat serta faktor lainnya. Di Teluk Balikpapan, salinitas bukan faktor pembatas utama yang ditunjukkan dengan nilai salinitas sekitar 30 dan 34‰, adanya terumbu karang di bagian tengah teluk dan keterdapatannya ostrakoda marin yang sangat dominan. Komposisi spesies ostrakoda marin dari dasar perairan Teluk Balikpapan ini umumnya juga dijumpai di Paparan Sunda: Selat Malaka, Selat Karimata, Selat Bangka, Laut Jawa, dan Teluk Lampung (Whatley dan Zhao, 1987, 1988; Mostafawi, 1992; Dewi, 1997, Dewi dr., 2007). Perbedaannya terletak pada keterdapatannya beberapa genera yang hidup di perairan transisi yang dipengaruhi pasokan air tawar yaitu

tawar seperti yang ditemukan di dataran pasang surut (*tidal flat*) di Yaman (Mohammed dan Keyser, 2012).

Faktor kedalaman air berkisar antara 1.5-26.5 m masih termasuk ke dalam zona neritik dalam (< 30 m). Namun demikian dalam kondisi kisaran kedalaman relatif sama (kurang dari 20 m) seperti St. 16, 23 dan 25 dengan St. 19, 20, 21, 22, 26), kehadiran ostrakoda sangat berbeda jumlahnya. Hal yang menarik adalah di St. 9 mempunyai kedalaman 7 m menunjukkan titik yang sedikit rendah dibandingkan dengan stasiun di sekitarnya pada kedalaman kurang dari 5 m. Titik lokasi ini menjadi titik temu atau titik akumulasi spesimen ostrakoda yang berasal dari berbagai sumber pada saat terjadi pergerakan arus dari luar ke dalam atau sebaliknya. Dengan adanya titik temu ini secara tidak langsung membentuk dua komunitas ostrakoda di bagian tengah dan luar teluk. Jika dilihat dari komposisi spesiesnya, stasiun ini didominasi oleh genera *Cytherella* dan *Cytherelloidea* yang

umumnya dijumpai dalam keadaan terkatub. Ostrakoda secara cepat akan menutup cangkangnya pada saat terjadi perubahan lingkungan secara mendadak. Selain itu juga ditunjang dengan kehadiran foraminifera ber dinding pasiran cukup melimpah yang mengindikasikan terjadi pasokan air tawar ke titik tersebut.

Pengaruh aliran air asal daratan atau air asal lautan dan sebaliknya memperlihatkan keragaman jenis sedimen yang secara tidak langsung berpengaruh pada keragaman dan kelimpahan ostrakoda. Whatley dan Zhao (1987 dan 1988) dan Mostafawi (1992) juga mendapatkan bahwa jenis sedimen yang didominasi oleh pasir kuarsa mengandung sedikit ostrakoda di Selat Malaka dan Selat Karimata. Keterdapatannya material organik berupa sisa-sisa tanaman berwarna kehitaman di teluk Balikpapan juga berpengaruh terhadap kelimpahan ostrakoda. Demikian juga, Husein dr. (2007) mendapatkan bahwa unsur gampingan di perairan transisi India sangat berperan dalam mengontrol kehidupan ostrakoda selain salinitas dan kedalaman. Rendahnya kelimpahan ostrakoda juga terjadi di Teluk Ismi, Aegian disebabkan oleh meningkatnya kandungan logam berat Hg, Cu, Ni, Mn dalam sedimen (Bergin dr., 2006). Dari uraian tersebut memperlihatkan bahwa beberapa parameter lingkungan perairan berpengaruh terhadap kehidupan ostrakoda.

Selain keragaman dan kelimpahan ostrakoda, kehadiran spesies indikatif berperan dalam memberi data penting untuk interpretasi perubahan lingkungan purba. Genus *Leptocythere* telah terbukti sebagai penciri kehidupan di berbagai perairan payau/marginal (Boomer dr., 2003) termasuk kehadirannya di Teluk Balikpapan. Cangkang yang mempunyai hiasan kuat dan tebal seperti *Actinocythereis* ditemukan di jenis sedimen berpasir (Ruiz dr., 2005). Ostrakoda yang hidup berasosiasi dengan alga umumnya dari genera *Loxococoncha*, *Paradoxostoma*, *Propontocypris* dan *Xestolelberis* (Frenzel dan Boomer, 2005).

Interpretasi lingkungan pengendapan

Ostrakoda yang telah banyak digunakan untuk merekonstruksi lingkungan purba mengacu studi ostrakoda Resen dari berbagai jenis perairan. Carbonel dan Moyes (1987) mendapatkan data lima kelimpahan ostrakoda Resen pada salinitas berbeda antara 5‰ dan >32 ‰ di sekitar Delta Mahakam. Kemudian data tersebut digunakan sebagai acuan terhadap sampel pemoran MISEDOR sedalam 650 m yang diambil di dataran Delta Mahakam dan menunjukkan adanya empat fase perubahan lingkungan sejak Pliosen Atas. Ozawa dan Tanaka (2019) menggunakan teknik analog modern (MAT) ostrakoda Resen dari Laut Setonaikai, Jepang. Kemudian dikilasbalikan terhadap kelimpahan ostrakoda dari Formasi Naganuma Jepang sehingga diperoleh kedalaman purba sekitar 25–41 m dan estimasi suhu purba sekitar 28⁰C.

Dalam penentuan lingkungan pengendapan tidak hanya terbatas pada kelimpahan dan komposisi spesies namun juga dari berbagai aspek, seperti komposisi

cangkang dalam bentuk belum dewasa (juvenile=J) hingga dewasa (*Adult*=A), perbandingan cangkang terkatub (*Carapace*=C) dan terpisah (*Valve*=V), percampuran komposisi spesies laut dalam dan dangkal elemen jejak dalam cangkang ostrakoda, rasio jantan/betina dan lain-lain. Achmad dr. (1991) dari perbandingan C/V ostrakoda dapat disimpulkan bahwa kecepatan sedimentasi tinggi terjadi pada umur Eosen Atas dan Miosen Bawah dibandingkan dengan pada Kala Oligosen di daerah Lindi, Tanzania.

Dalam melakukan interpretasi lingkungan pengendapan berdasarkan hasil studi ostrakoda Resen di Teluk Balikpapan ini, maka hal yang perlu dipertimbangkan adalah:

- Keterdapatannya ostrakoda laut dangkal sangat dominan dibandingkan dengan kehadiran ostrakoda dari perairan payau.
- Keragaman dan kelimpahan serta distribusi ostrakoda cukup bervariasi yang berkaitan dengan hidrodinamika perairan (pasang surut, arus, variasi muka laut) dan jenis sedimen.
- Kehadiran taksa ostrakoda indikatif lingkungan memberi informasi tambahan, seperti berasosiasi dengan alga, terumbu karang, lingkungan berenergi tinggi, dan lain-lain.
- Jumlah cangkang terkatub lebih sedikit dibandingkan cangkang terpisah yang menunjukkan bahwa kecepatan sedimentasi rendah. Hal ini didukung dari hasil pentarikan umur Pb ²¹⁰ terhadap sebuah sampel sedimen di Teluk Balikpapan yang memberi nilai kecepatan sedimentasi sekitar 4-6 mm/tahun (Prihandono dr., 2011). Selain itu masih ditemukan cangkang berwarna merah dan bagian lunak dapat memberi informasi ostrakoda *in situ* yang hidup di Teluk Balikpapan. Data ostrakoda dalam bentuk *valve* tanpa bagian lunak dapat dipertimbangkan mewakili satu kurun waktu kala Holosen karena sampel yang digunakan sekitar 2 cm (20 mm) dari dasar perairan dengan kecepatan sedimentasi rendah. Anado'n dr., 2002 (dalam Frenzel dan Boomer 2005) dapat menginterpretasi lingkungan aliran sungai purba berumur Kuartar di Itali berdasarkan satu spesies ostrakoda yang mewakili kelompok dewasa dan belum dewasa.

Secara khusus dapat dinyatakan bahwa ostrakoda merupakan bioindikator independen namun lebih bermakna apabila digunakan secara bersama-sama dengan indikator lain dalam analisis lingkungan purba (Frenzel dan Boomer, 2005). Interpretasi lingkungan purba dari kawasan ini dapat membantu data terkait perubahan lingkungan terkini menuju perkiraan perubahan di masa datang, terutama setelah dibangunnya Ibu Kota Negara di bagian hulu Teluk Balikpapan. Irizuki dr. (2008) memperlihatkan perbedaan komunitas ostrakoda di Teluk Uranouchi pada perbedaan waktu lima dekade akibat adanya aktivitas manusia. Pendekatan terpadu antara pemantauan dan sejarah geologi dapat

memberi gambaran pengaruh antropogenik terhadap sistem alamiah teluk ini. Adanya perubahan satu atau beberapa parameter lingkungan dapat berpengaruh terhadap stabilitas perairan yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap kelimpahan ostrakoda. Dalam pemantauan lingkungan ke depan dapat mengacu pada studi di berbagai negara seperti Irizuki drr. (2011 dan 2015).

KESIMPULAN

Keragaman, kelimpahan dan distribusi ostrakoda cukup bervariasi dan berasosiasi dengan kondisi hidrodinamika dan jenis sedimen di Teluk Balikpapan. Variasi ini menjadi bahan pertimbangan dalam menginterpretasi lingkungan purba, khususnya perairan transisi antara lautan dan daratan. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah kehadiran spesies ostrakoda indikator lingkungan tertentu dan anomali kelimpahan yang sangat tinggi terjadi di titik pertemuan bagian tengah dan luar teluk. Karakteristik ostrakoda yang mencerminkan ekosistem Teluk Balikpapan didominasi oleh ostrakoda marin *Hemicytheridea reticulata*, *Cytherella semitalis* dan *Alocopocythere kendengensis* serta kehadiran ostrakoda perairan marginal dalam jumlah sedikit seperti *Argilloecia*, *Leptocythere*, *Paracyris*, *Miocyprideis*, dan *Pontocythere*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada semua pihak baik di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan maupun di Pusat Survei Geologi atas kerjasama, dukungan, kritik dan saran hingga tersusunnya naskah ini.

DAFTAR ACUAN

- Achmad, M., Neale, J.W. and Siddiqui, Q.A. 1991. Tertiary Ostracoda from the Lindi area, Tanzania. *Bulletin British Musuem Natural History (Geology)*, 46 (2): 175-270.
- Adyaksi, Y.N., Asbar, I. dan Mulyadi, 2016. Analisis Kualitas Air di Perairan Pesisir Teluk Balikpapan Ditinjau dari Faktor Lingkungan Fisik, Kimia dan Penyebaran Plankton sebagai Bioindikator. *Prosiding Seminar Nasional II Biologi, Sains, Lingkungan, dan Pembelajaran, Pendidikan Biologi FKIP Universitas Mulawarman, Samarinda*, 3 Desember 2016: 502-515
- Anado'n, P., Gliozzi, E., and Mazzini, I., 2002. *Paleoenvironmental reconstruction of marginal marine environments from combined paleoecological and geochemical analyses on ostracods*. In: Holmes, J., Chivas, A. (Eds.). *The Ostracoda: Applications in Quaternary Research*, Geophysical Monograph, vol. 131, pp. 227– 247.
- Bergin, F., Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Barut, F., Meric, E., Avsar, N., and Nazik, A., 2006. *The response of benthic foraminifera and ostracoda to heavy metal pollution in Gulf of Izmir (Eastern Aegean Sea)*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66: 368-386.
- Boomer, I., Horne, D.J., Slipper, I.J., 2003. *The use of ostracods in palaeoenvironmental studies, or what can you do with an ostracod shell?* *Paleontological Society Paper* 9, 153–180.
- Carbonel, P., and Moyes, J., 1987. *Late Quaternary paleoenvironments of the Mahakam Delta (Kalimantan, Indonesia)*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 61: 265-284
- Carbonel, P. 1988. *Ostracods and the transition between fresh and saline waters*. In P. DeDeckker, J.O. Colin, and J.P. Peypouquet. *Ostracoda in the Earth Sciences* 157-174.
- Dewi, K.T., 1997. *Ostracoda from the Java Sea, West of Bawean Island, Indonesia*. Marine Geological Institute Special Publication No. 4: 86p
- Dewi, K.T., Aryanto, N.A.D., dan Noviadi, Y., 2007. Land sea interactions in coastal waters off NE Kalimantan: evidence from microfaunal communities. *Bulletin of the Marine Geology* 22(1): 1-15.
- Faiz, N.N., K. R. Mohamed, K.R., and Omar, R., 2017. Species diversity and distribution of ostracoda (Crustacea) in Sungai Kubang Badak, Langkawi, Malaysia. *Malayan Nature Journal* 2017, 69(2), 83-92
- Frenzel, P. and Boomer, I. 2005. *The use of ostracods from marginal marine, brackish waters as bioindicators of modern and Quaternary environmental change*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 225 (1-4), 68-92
- Fauzielly, L., Irizuki, T. dan Samen, Y., 2013. *Spatial Distribution of Recent Ostracode Assemblages and Depositional Environments in Jakarta Bay, Indonesia, with Relation to Environmental Factors*. *Paleontological Research* 16(4):267-281
- Gildeeva, O., Akita, L.G., Biehler, J., Frenzel, P., and Alivernini, M., 2021. Recent Brackish Water Ostracoda and Foraminifera from Two Lagoons of Ghana, and Their Potential as Environmental Indicators. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* <https://www.researchgate.net/publication/338487860>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., and Ryan, P.D. 2001, PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis: *Palaeontologia Electronica*. [http:// palaeo-electronica.org/2001-1/past/issue1-01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001-1/past/issue1-01.htm)
- Hidayat, S., dan Umar, L., 1994. *Peta Geologi Lembar Balikpapan, Kalimantan Timur*, Skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung. *Laporan intern PPPG*. Tidak diterbitkan.

- Hussain, S.M., Ganesan, P., Ravi, G., Mohan, S.P. and Sridhar, S.G.D., 2008. Distribution of Ostracoda in marine and marginal marine habitats off Tamil Nadu and adjoining areas, southern east coast of India and Andaman Islands: Environmental implications. *Indian Journal of Marine Sciences* 36(4): 369-377
- Irizuki, T., Seto, K., and Nomura, R., 2008. *The impact of fish farming and bank construction on Ostracoda in Uranouchi Bay on the Pacific coast of Southwest Japan-Faunal change between 1954 and 2002/2005*. *Palaeontological Research* 12(3): 283-302.
- Irizuki, T., Takimoto A., Sako M., Nomura R., Kakuno K., Wanishi A., and Kawano S., 2011. The influences of various anthropogenic sources of deterioration on meiobenthos (Ostracoda) over the last 100 years in Suo-Nada in the Seto Inland Sea, southwest Japan. *Marine Pollution Bulletin* 62 (10), h. 2030-41.
- Irizuki, T., Ito, H., Sako, M., Yoshioka, K., Kawano S., Nomura, R., and Tanaka, Y., 2015. Anthropogenic impacts on meiobenthic Ostracoda (Crustacea) in the moderately polluted Kasado Bay, Seto Inland Sea, Japan, over the past 70 years. *Marine Pollution Bulletin* 91(1):149-59.
- Mohammed, M. and Keyser, D. 2012. Recent Ostracods from the Tidal Flats of the Coast of Aden City, Yemen. *Marine Biodiversity*, 42, 247-280.
- Mostafawi, N., 1992. Rezente Ostracoden aus Dem Mittleren Sunda Schelf, Zwischen der Malaiischen Halbinsel und Borneo (abstract in English). *Senckenbergiana Lethaea* 72, 129-168
- Ozawa, H., and Tanaka, G., 2019. Paleoenvironmental analysis from fossil ostracod assemblages of the Middle Pleistocene Naganuma Formation in the Sagami Group, Central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 70 (1/2): 5-16
- Priohandono, Y.A., Naibaho, T., dan Novico, F., 2011. Penelitian Lingkungan dan Proses Sedimentasi di Perairan Balikpapan-Kalimantan Timur. *Laporan Intern Kelompok Program Lingkungan dan Kebencanaan Geologi Kelautan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (Tidak Diterbitkan)*. 56h.
- Ruiz, F., Abad, M., Bodegrat, A.M., Carbonel, P., Rodriguez-Lazaro, J., dan Yasuhara, M., 2005. Marine and brackish-water ostracods as sentinels of anthropogenic impacts. *Earth-Science Reviews* 72: 89-111
- Samir, A.M., 2000. The response of benthic foraminifera and ostracods to various pollution sources: a study from two lagoons in Egypt. *Journal of Foraminiferal Research* 30: 83-98.
- Whatley, R.C. dan Zhao, Q., 1987. Recent Ostracoda of the Malacca Straits, Part 1. *Revista Espanola de Micropaleontologia* 19, 327-366.
- Whatley, R.C. dan Zhao, Q., 1988. Recent Ostracoda of the Malacca Straits, Part 2. *Revista Espanola de Micropaleontologia* 20, 5-37.
- Yassini, I., dan Jones, B., 1994. *Foraminiferida and ostracoda from estuarine and shelf on the southeastern coast of Australia*. University of Wollongong Press. 484h.

POLA SEBARAN FORAMINIFERA PADA ENDAPAN SEDIMEN GOSONG PANTAI DELTA WULAN, DEMAK, JAWA TENGAH

THE DISTRIBUTION OF FORAMINIFERA AT WULAN DELTA LONGSHORE BAR DEPOSIT, DEMAK, CENTRAL JAVA

Anis Kurniasih^{1*}, Meidey Tiara² dan Wahyu Krisna Hidajat¹

¹ Teknik Geologi Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedharto, SH., Tembalang, Semarang, 50275

*anis.kurniasih@live.undip.ac.id

Diterima : 14-12-2022 , Disetujui : 24-03-2023

ABSTRAK

Delta Wulan mengalami dinamika sedimentasi yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Perubahan proses sedimentasi di Delta Wulan dapat diamati dari perubahan morfologi delta yang disebabkan peningkatan pengaruh gelombang laut. Proses sedimentasi juga berpengaruh terhadap pola distribusi foraminifera yang terkandung dalam sedimen. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pola sebaran foraminifera dan hubungannya dengan proses sedimentasi tersebut, terutama pada endapan gosong pantai di Delta Wulan. Objek penelitian ini adalah foraminifera pada sampel yang berasal dari tiga buah inti sedimen yang diambil di bagian laguna, gosong muara, dan bagian depan gosong memanjang pantai. Foraminifera yang teridentifikasi kemudian dianalisis sebarannya menggunakan Rasio P/B. Hasil penelitian ini menunjukkan taksa foraminifera planktonik yang paling dominan antara lain *Sphaeroidinella subdehiscens*, *Globorotalia menardii*, dan *Orbulina universa*. Takson foraminifera bentonik yang mendominasi adalah *Bathysiphon* sp. Pola sebaran foraminifera menggambarkan pola yang umum dijumpai di perairan laut dalam. Hal ini diduga berkaitan dengan proses sedimentasi yang terpengaruh kuat oleh gelombang laut sehingga membawa cangkang foraminifera dari batimetri yang lebih dalam ke bagian delta. Dengan kata lain, sebaran cangkang foraminifera yang teridentifikasi tidak menggambarkan komunitas asli perairan Delta Wulan karena merupakan hasil transportasi dari lingkungan perairan yang berbeda.

Kata kunci: foraminifera, distribusi, sedimen, gosong memanjang pantai, Delta Wulan

ABSTRACT

*Wulan Delta has experienced significant sedimentation dynamics in last few decades. Changes in sedimentation process in Wulan Delta can be observed from changes in the delta morphology which caused by the increasing of sea wave influence. The sedimentation process also affects the distribution of foraminifera contained in sediments. Therefore, this research was conducted to observe the foraminifera distribution and its relationship to the sedimentation process, especially in the longshore bar of Wulan Delta. The object of this study were foraminifera in samples from three sediment cores taken from lagoon, mouth bar, and longshore bar. The identified foraminifera were then analyzed for their distribution using P/B ratio. The results of this study indicated that the most dominant planktonic foraminifera taxa included *Sphaeroidinella subdehiscens*, *Globorotalia menardii*, and *Orbulina universa*. The dominant benthic foraminifera taxon is *Bathysiphon* sp. The foraminifera distribution illustrates a pattern that is commonly found in deep-sea waters. This is thought to be related to sedimentation process which was strongly influenced by sea waves so that it*

transported the foraminifera shells from deeper bathymetry to the delta. In other words, the distribution of the identified foraminifera shells does not reflect the original community of Delta Wulan waters because they are result of transportation from different aquatic environments.

Keyword: foraminifera, distribution, sediment, longshore bar, Wulan Delta

PENDAHULUAN

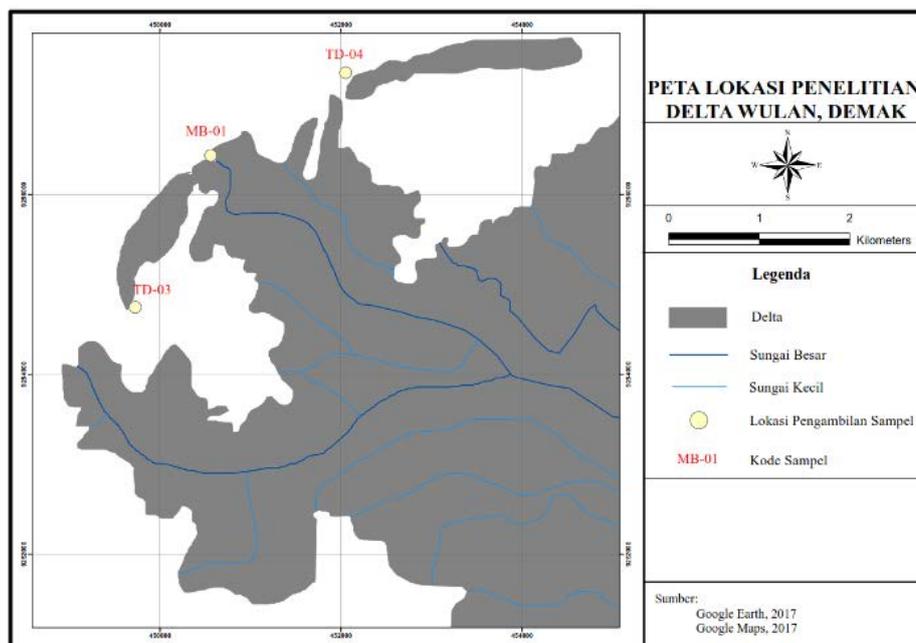
Foraminifera merupakan organisme bersel tunggal yang hidup di lingkungan perairan, baik perairan laut, transisi maupun darat. Foraminifera dapat hidup secara mengambang (planktonik) atau menambat di dasar perairan (bentonik) sehingga sangat baik digunakan sebagai indikator ekologi suatu perairan (Armstrong dan Brasier, 2005; Kurniasih drr., 2017; Nugroho drr., 2021). Salah satu faktor ekologi yang berpengaruh terhadap kehidupan foraminifera adalah substrat sedimen. Semakin tinggi kandungan substrat sedimen tersuspensi akan menyebabkan tingkat kekeruhan air menjadi semakin tinggi dan hal ini akan mengganggu komunitas foraminifera yang hidup di dalamnya. Selain itu, ketika organisme foraminifera telah mati, cangkangnya akan terendapkan di dasar perairan bersama dengan substrat sedimen lainnya.

Delta Wulan yang secara administratif terletak di Kecamatan Wedung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah, merupakan bagian dari daerah pesisir pantai utara Pulau Jawa yang mengalami dinamika sedimentasi cukup signifikan selama beberapa dekade. Perubahan proses sedimentasi di Delta Wulan diikuti dengan perubahan morfologi delta yang semula berbentuk menyerupai kaki burung berubah menjadi memanjang ditandai dengan terbentuknya gosong (*bar*) yang sejajar dengan garis pantai (Marfai drr., 2015). Perubahan morfologi delta ini

disebabkan oleh perubahan proses sedimentasi yang awalnya didominasi oleh pengendapan dari sungai (*fluvial*) kemudian diikuti dengan pengaruh arus laut yang semakin tinggi sehingga proses yang berpengaruh bersifat dua arah (dari sungai dan laut) (Atmojo drr., 2016a; Atmojo drr., 2016b).

Perubahan proses sedimentasi tidak hanya tergambar dari sebaran jenis sedimen yang terbentuk, namun juga dapat diamati dari kandungan organisme yang terdapat dalam sedimen, salah satunya adalah foraminifera (Fellowes drr., 2016). Dengan mengamati kelimpahan jenis-jenis foraminifera pada sedimen Delta Wulan, akan diperoleh gambaran kondisi ekologi perairan dan kaitannya dengan proses sedimentasi yang terjadi.

Penelitian ini dilakukan pada perairan Delta Wulan dengan memanfaatkan distribusi foraminifera yang terkandung dalam endapan sedimen gosong memanjang pantai sebagai indikator proses pengendapan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola sebaran foraminifera pada endapan gosong memanjang pantai dan mengaitkannya dengan proses sedimentasi. Penelitian mengenai distribusi foraminifera di perairan Delta Wulan telah dilakukan oleh peneliti lain sebelumnya, antara lain oleh Hartati drr. (2021) dan Manuhuwa drr. (2021). Kedua penelitian tersebut secara umum menjelaskan mengenai sebaran foraminifera di perairan Delta Wulan, namun tidak mengaitkannya dengan proses sedimentasi yang berpotensi merubah pola sebaran cangkang foraminifera



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel inti sedimen TD-03, MB-01, dan TD-04

di daerah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengungkap adanya proses sedimentasi yang mempengaruhi sebaran foraminifera di perairan Delta Wulan, terutama pada endapan gosong pantai.

METODE

Objek penelitian ini adalah foraminifera yang terkandung dalam sedimen Delta Wulan. Sampel sedimen berasal dari tiga (3) buah inti sedimen yang diambil di perairan Delta Wulan pada berbagai lokasi. Sampel dengan kode TD-03 diambil di bagian belakang gosong memanjang, MB-01 diambil pada gosong muara, dan TD-04 di bagian depan gosong memanjang (Gambar 1).

Pengambilan sampel inti sedimen dilakukan dengan bor tumbuk. Metode ini menggunakan satu set alat bor tumbuk yang dipasangkan pada pipa PVC yang sebelumnya telah dibelah dan direkatkan kembali. Proses pengambilan sampel dilakukan dengan memukulkan pemberat pada bagian ujung pipa yang telah disambungkan dengan besi pengaman. Setelah pipa masuk ke dalam lapisan sedimen sesuai dengan kedalaman yang diinginkan, pipa dicabut ke permukaan dan sampel sedimen akan terambil bersama dengan pipa tersebut. Pengambilan sampel sedimen dengan metode ini dilakukan pada 3 titik dengan kedalaman masing-masing inti sedimen adalah TD-03 70 cm, MB-01 130 cm, dan TD-04 100 cm.

Dari tiga sedimen inti tersebut, diambil sampel sedimen dengan interval 30 cm untuk selanjutnya dipreparasi dan dianalisis kandungan foraminifera di dalamnya. Tahap analisis seluruhnya dilaksanakan di laboratorium meliputi deskripsi inti sedimen dan pemilihan sampel untuk analisis foraminifera, yang mencakup preparasi, penamaan, dan analisis distribusinya.

Dari tiga sampel inti sedimen yang telah diambil di lapangan, diambil sebanyak masing-masing 100 gram dengan interval 30 cm. Sebelum itu, sedimen inti telah terlebih dahulu dideskripsi secara megaskopis untuk mendapatkan gambaran kondisi sedimentologinya yang meliputi tekstur, struktur, dan komposisi sedimen.

Preparasi foraminifera dilakukan dengan pencucian sampel menggunakan air bersih yang mengalir. Setelah itu, sampel dikeringkan dan siap untuk dianalisis. Sebelum masuk ke langkah selanjutnya, foraminifera yang terkandung dalam sedimen dipisahkan dari substrat (penjentikan). Pada setiap sampel, sebanyak 300 individu foraminifera diambil secara acak untuk kemudian dideterminasi berdasarkan cara hidup dan taksonominya.

Penamaan foraminifera merupakan proses mengidentifikasi foraminifera dan mengelompokkannya secara taksonomis sampai ke tingkat genus dan/atau spesies. Dasar pengelompokan foraminifera planktonik yang digunakan dalam penelitian ini adalah Postuma (1971), sedangkan untuk foraminifera bentonik menggunakan Morkhoven dr. (1986). Foraminifera yang telah dideterminasi kemudian dihitung populasi untuk

jenis yang sama dan ditampilkan dalam tabel distribusi foraminifera.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sedimen

Secara umum, sedimen di seluruh sampel inti sedimen memiliki ciri ukuran butir yang semakin ke atas semakin mengkasar:

Sampel inti sedimen MB-01

Sampel inti sedimen MB-01 diambil di gosong muara hingga kedalaman 130 cm. Hasil pengamatan karakteristik sedimen menunjukkan sampel MB-01 tersusun oleh empat karakteristik litofasies (Tabel 1).

Sampel inti sedimen TD-04

Sampel inti sedimen TD-04 diambil di bagian depan gosong memanjang Delta Wulan dengan total kedalaman sampel 100 cm. Hasil pengamatan menunjukkan inti sedimen ini terdiri atas tiga litofasies seperti pada Tabel 2.

Sampel inti sedimen TD-03

Sampel TD-03 diambil di bagian belakang gosong memanjang atau laguna Delta Wulan dengan total kedalaman 70 cm. Hasil pengamatan terhadap karakteristik endapan sedimen di sampel TD-03 dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil deskripsi ketiga sampel sedimen inti tersebut di atas dikorelasikan berdasarkan karakteristik sedimennya sehingga didapatkan tiga (3) kelompok endapan sedimen seperti terlihat pada Gambar 2.

Hasil korelasi menunjukkan bahwa di ketiga contoh inti yang dianalisis terdapat tiga jenis endapan dari bawah ke atas yaitu endapan A (warna hijau), endapan B (warna kuning muda), dan endapan C (warna kuning tua). Endapan A tersusun oleh material berukuran butir lempung hingga pasir halus. Endapan B merupakan endapan yang berukuran pasir halus hingga pasir kasar dan mengalami pengkasaran ke atas. Endapan C merupakan endapan paling atas dan memiliki ukuran butir pasir sedang hingga pasir sangat kasar.

Secara umum, hasil korelasi pada Gambar 2 memperlihatkan endapan A paling tebal berada pada sampel TD-03 yang terendapkan di bagian laguna dan mengalami penipisan semakin ke arah TD-04 yang terendapkan di bagian depan gosong memanjang. Pola ini juga teramati pada endapan B yang mengalami penipisan semakin ke arah TD-04. Sementara itu endapan C tidak memiliki perbedaan ketebalan yang signifikan. Pola sebaran endapan sedimen ini menunjukkan energi pengendapan yang berbeda, yakni pada daerah laguna (sampel TD-03) energi pengendapan paling rendah dan di daerah depan gosong memanjang energi pengendapannya paling tinggi.

Pada ketiga endapan tersebut terdapat pecahan cangkang moluska yang terfragmentasi tinggi dan menyebar tanpa menunjukkan orientasi arah tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa transport sedimen cukup kuat

Tabel 1. Karakteristik endapan sedimen pada sampel MB-01

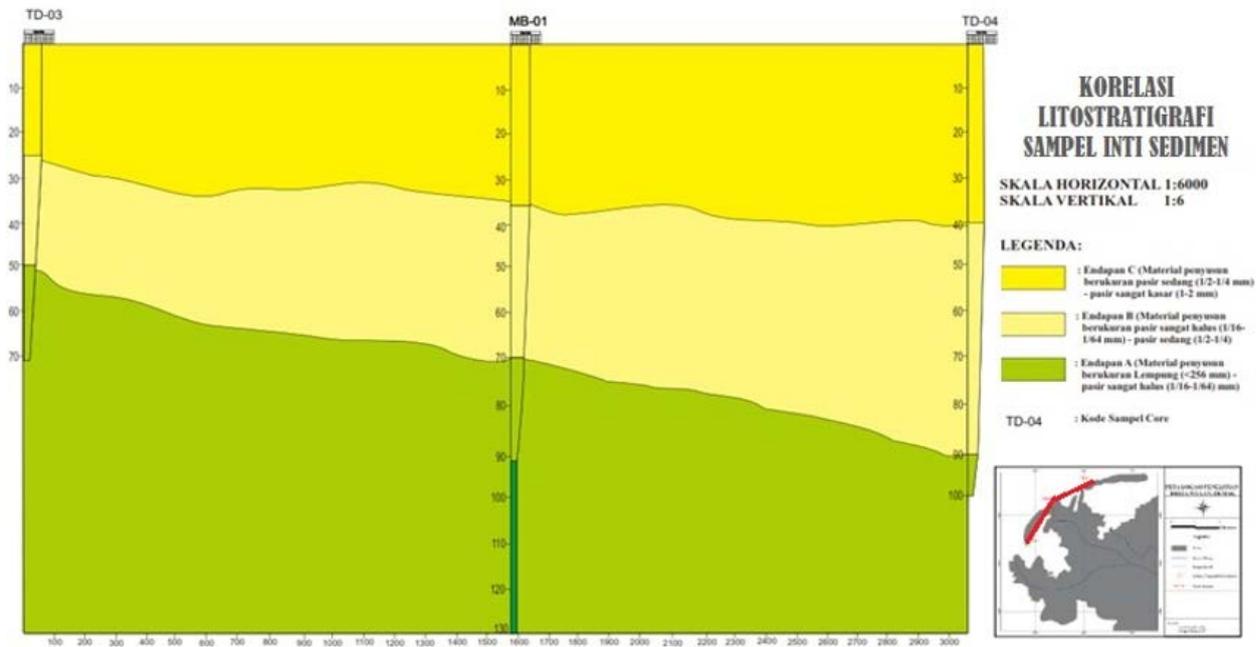
	0 – 35 cm	Endapan paling atas memiliki karakter warna coklat gelap dan ukuran butir pasir kasar hingga sangat kasar. Pada kedalaman ini juga terdapat fragmen cangkang moluska dengan tingkat fragmentasi beragam dan menyebar.
	35 – 70 cm	Pada kedalaman ini, sedimen memiliki warna coklat gelap dengan ukuran butir pasir halus, membentuk gradasi mengkasar ke atas. Ditemukan lapisan mengandung fragmen moluska terfragmentasi rendah pada kedalaman 55 – 60 cm.
	70 – 92 cm	Karakter sedimen di interval kedalaman ini secara umum lebih kasar daripada sedimen di bawahnya. Warna abu-abu kecoklatan, ukuran butir lempung pasiran, membentuk gradasi mengkasar ke atas. Pada kedalaman ini ditemukan pecahan cangkang moluska yang terfragmentasi tinggi dengan kelimpahan cukup banyak dan tersebar acak.
	92 – 130 cm	Pada interval kedalaman ini, karakteristik sedimen menunjukkan warna abu-abu gelap dan ukuran butir lempung.

Tabel 2. Karakteristik endapan sedimen pada sampel TD-04

	0 – 40 cm	Endapan paling atas memiliki karakter warna coklat gelap dan ukuran butir pasir sedang hingga kasar, terdapat pecahan cangkang moluska yang terfragmentasi tinggi dan menyebar
	40 – 90 cm	Karakter sedimen di interval kedalaman ini secara umum lebih kasar daripada sedimen di bawahnya. Warna coklat gelap, ukuran butir pasir halus – pasir sedang, membentuk gradasi mengkasar ke atas. Secara umum menunjukkan ukuran butir yang semakin kasar ke atas.
	90 – 100 cm	Pada interval kedalaman ini, karakteristik sedimen menunjukkan warna coklat gelap dan ukuran butir lempung pasiran

Tabel 3. Karakteristik endapan sedimen pada sampel TD-03

	0 – 25 cm	Endapan paling atas memiliki karakter warna coklat gelap dan ukuran butir pasir sedang hingga kasar, terdapat pecahan cangkang moluska yang terfragmentasi rendah dan menyebar.
	25 – 50 cm	Karakter sedimen di interval kedalaman ini secara umum lebih kasar daripada sedimen di bawahnya. Warna coklat, ukuran butir pasir halus – pasir sedang. Secara umum menunjukkan ukuran butir yang semakin kasar ke atas. Terdapat cangkang moluska dalam kondisi utuh.
	50 – 70 cm	Pada interval kedalaman ini, karakteristik sedimen menunjukkan warna coklat gelap dan ukuran butir pasir sangat halus, membentuk gradasi mengkasar ke atas, terdapat cangkang moluska dalam kondisi utuh.



Gambar 2. Korelasi litostratigrafi sampel inti sedimen TD-03, MB-01, dan TD-04.

dengan energi pengendapan sedang hingga tinggi. Namun pada sampel TD-03, di interval kedalaman 25 – 70 cm terdapat cangkang moluska dalam kondisi utuh yang tidak ditemukan di sampel lainnya. Sampel TD-03 ini juga secara umum memiliki endapan A yang lebih tebal dibandingkan kedua sampel lainnya. Hal ini disebabkan

oleh lokasi pengambilan sampel yang berada di bagian belakang gosong memanjang atau di laguna, yang memiliki energi pengendapan paling rendah jika dibandingkan dua daerah lainnya yaitu gosong muara (MB-01) dan bagian depan gosong memanjang (TD-04).

Rasio Foraminifera Planktonik dan Bentonik

Kelimpahan foraminifera dapat menjadi salah satu indikator kedalaman suatu perairan (Natsir dr., 2017; Valchev, 2003). Analisis Rasio Planktonik/Bentonik atau Rasio P/B merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mendapatkan hasil tersebut. Analisis Rasio P/B atau perbandingan foraminifera planktonik dan bentonik dilakukan dengan menghitung jumlah populasi total foraminifera planktonik dan menghitung persentasenya terhadap jumlah total foraminifera, sesuai dengan rumus di bawah ini (Pers. 1):

$$\text{Rasio P/B} = (P/P + B) \times 100\% \quad (1)$$

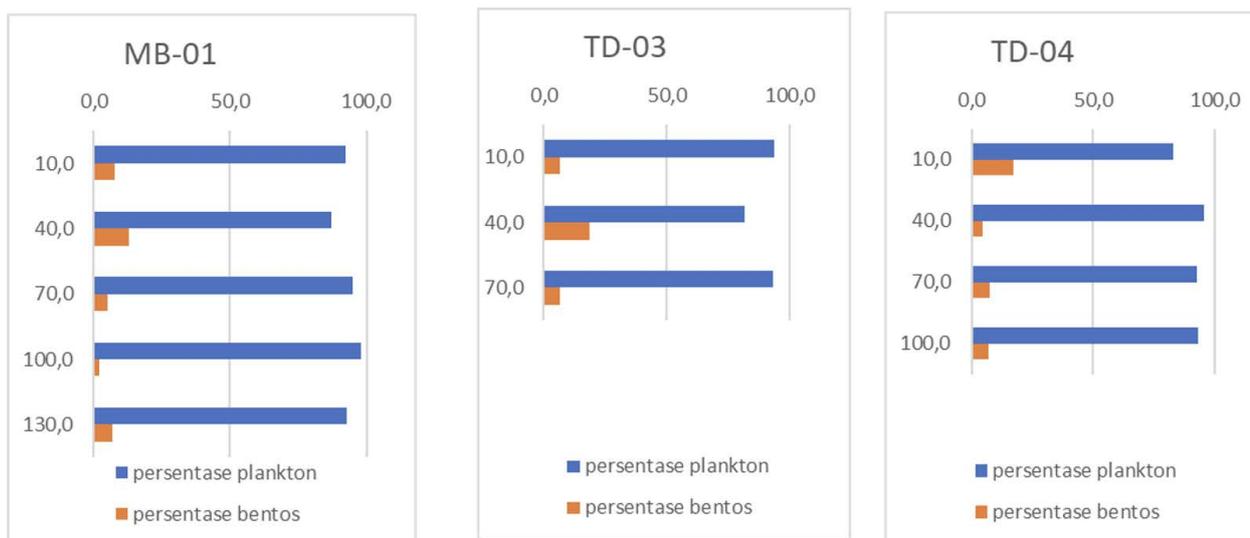
Dengan P adalah total populasi foraminifera planktonik dan B adalah total populasi foraminifera bentonik dalam suatu sampel.

Hasil analisis foraminifera di sampel inti sedimen MB-01, TD-03, dan TD-04 seluruhnya menunjukkan kelimpahan foraminifera planktonik yang lebih tinggi daripada foraminifera bentonik (Gambar 2). Hasil perhitungan Rasio P/B dari seluruh sampel memiliki nilai >90% yang berarti bahwa kehadiran foraminifera planktonik mendominasi seluruh komunitas foraminifera yang teridentifikasi.

bahwa kelimpahan foraminifera telah mengalami modifikasi sehingga tidak sesuai dengan prinsip analisis Rasio P/B. Modifikasi kelimpahan foraminifera kemungkinan terjadi setelah cangkang foraminifera mengendap di dasar perairan dan terangkut kembali oleh arus bersama dengan butir sedimen lainnya.

Kelimpahan Relatif Foraminifera Planktonik

Hasil identifikasi taksa foraminifera planktonik menunjukkan terdapat 15 spesies foraminifera planktonik dari seluruh sampel yang dianalisis, antara lain *Globigerinoides immaturus*, *Globigerinoides ruber*, *Sphaeroidinella subdehiscens*, *Sphaeroidinella dehiscens*, *Globorotalia obesa*, *Globigerina praebuloides*, *Globigerinoides trilobus*, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia opima*, *Globorotalia tumida*, *Globorotalia crassaformis*, *Orbulina bilobata*, *Orbulina Universa*, dan *Praeorbulina transitoria*. Dari seluruh taksa foraminifera planktonik, *Globigerinoides immaturus* merupakan takson dengan populasi paling tinggi di sebagian besar sampel. Taksa yang ditemukan melimpah di seluruh sampel antara lain *Sphaeroidinella subdehiscens*, *Globorotalia menardii*, dan *Orbulina universa*.



Gambar 2. Perbandingan kelimpahan foraminifera planktonik dan bentonik pada seluruh sampel yang dianalisis.

Penelitian terdahulu yang menggunakan metode ini mengungkapkan bahwa persentase foraminifera planktonik berbanding lurus dengan kedalaman, yakni semakin tinggi persentase kehadiran foraminifera planktonik semakin dalam sampel sedimen tersebut terendapkan (Valchev, 2003; Boltovskoy dan Wright, 1976; Murray, 2006; Gibson, 1989; Natsir dr., 2017; Bellier dr., 2010).

Dalam penelitian ini, hasil penghitungan nilai Rasio P/B pada seluruh sampel menunjukkan hasil yang tinggi (>90%) yang seharusnya menunjukkan batimetri lingkungan pengendapan yang dalam. Namun, sampel yang dianalisis berasal dari sampel inti sedimen yang diambil di lingkungan perairan dangkal yakni laguna, gosong muara, dan gosong pantai. Hal ini menunjukkan

Kelimpahan foraminifera planktonik pada seluruh sampel dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Sphaeroidinella dehiscens, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides trilobus*, dan *Globorotalia crassaformis* adalah kelompok foraminifera planktonik yang umum dijumpai secara melimpah di perairan laut daerah tropis (Kucera dr., 2005).

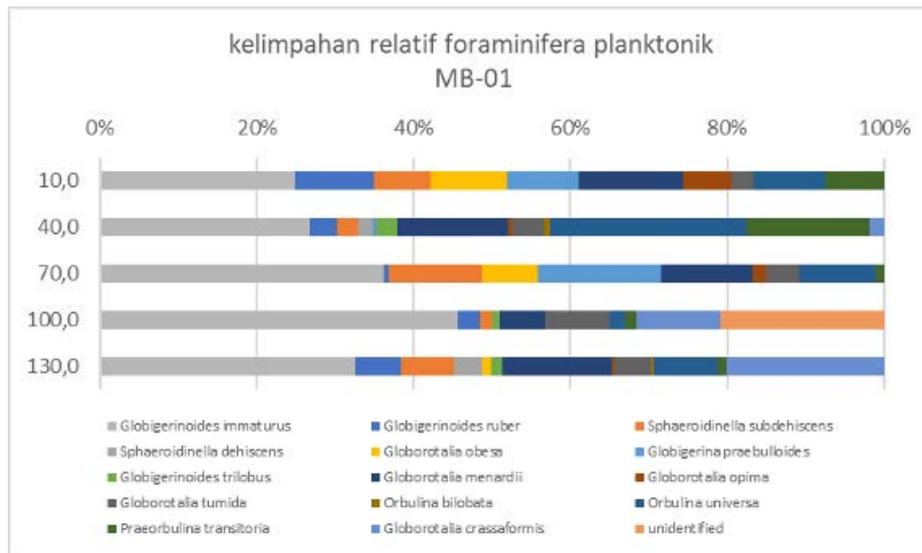
Kelimpahan Relatif Foraminifera Bentonik

Taksa foraminifera bentonik yang teridentifikasi dari seluruh sampel berjumlah 22, antara lain *Uvigerina mediterania*, *Hyalina balthica*, *Pyrgo lucernula*, *Planulina rugosa*, *Pyrgo murhina*, *Sigmoilopsis schlumbergeri*, *Melonis pompiloides*, *Cibicidoides subhaidinerii*, *Uvigerina carapitoma*, *Coryphostoma*

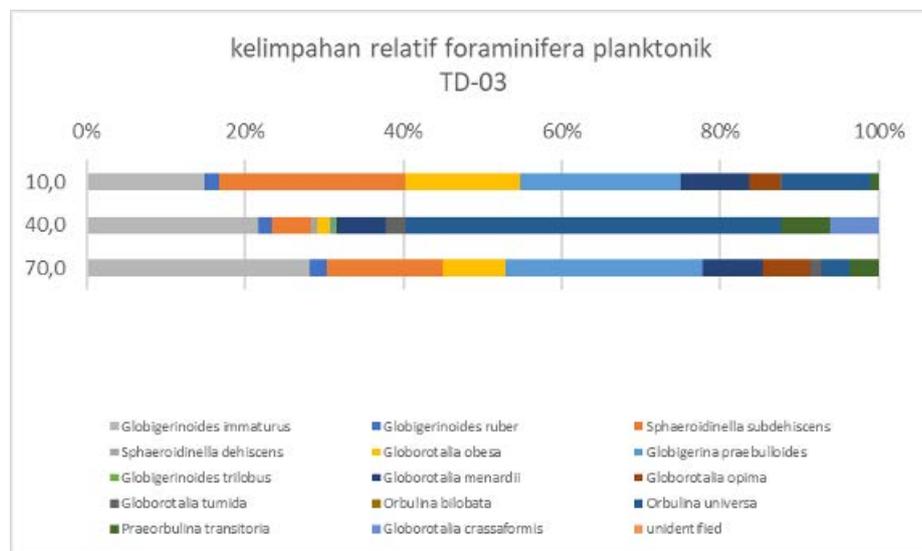
midwayensis, *Bathysiphon* sp., *Stilostomella annulifera*, *Ammodiscus latus*, *Caudammina gigantea*, *Cibicidoides lazanensis*, *Cibicidoides bradgi*, *Elphidium macellum*, *Stilostomella soluta*, *Margimulina obesa*, *Asterorotalia pulchella*, dan *Bulimina exilis*. Takson yang paling melimpah adalah *Bathysiphon* sp.

Di antara seluruh taksa foraminifera bentonik, terdapat taksa penciri batimetri yaitu *Pyrgo lucernula* dan *Pyrgo murhina* yang merupakan penciri lingkungan pantai; *Elphidium macellum* yang merupakan penciri daerah transisi; dan *Bathysiphon* sp. penciri laut dalam (Tipsword dr.,1966).

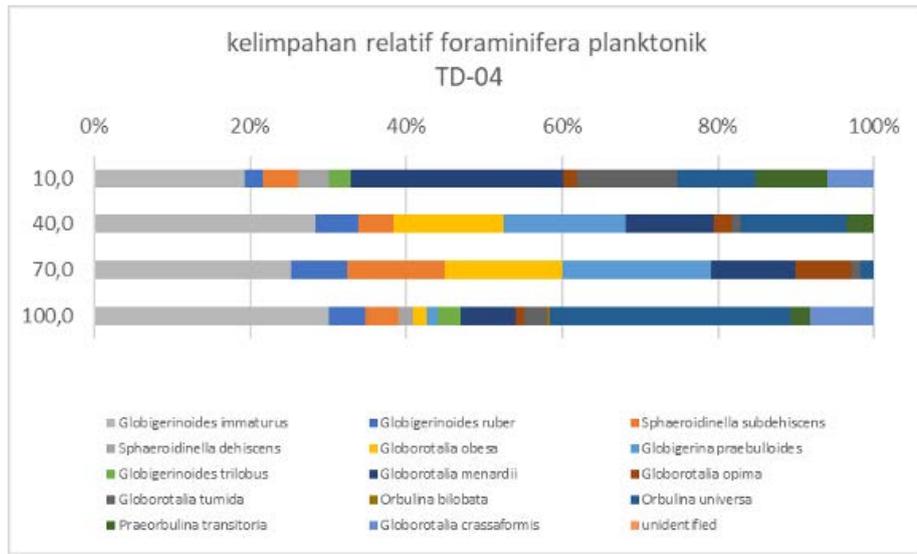
Sampel MB-01, TD-03, dan TD-04 seluruhnya diambil dari lokasi yang letaknya dekat dengan delta yang secara batimetri seharusnya berada pada kedalaman yang dangkal. Akan tetapi hasil analisis foraminifera bentonik menunjukkan kelimpahan yang dominan dari taksa penciri perairan yang lebih dalam. Ketidaksesuaian ini dapat terjadi dikarenakan foraminifera bentonik yang hidup di suatu kedalaman, kemudian mati sehingga cangkangnya mengendap, dan setelah itu tertransport ke daerah yang lebih dangkal. Berdasarkan hal tersebut, maka komunitas foraminifera bentonik yang terkandung dalam sedimen di daerah penelitian diinterpretasikan



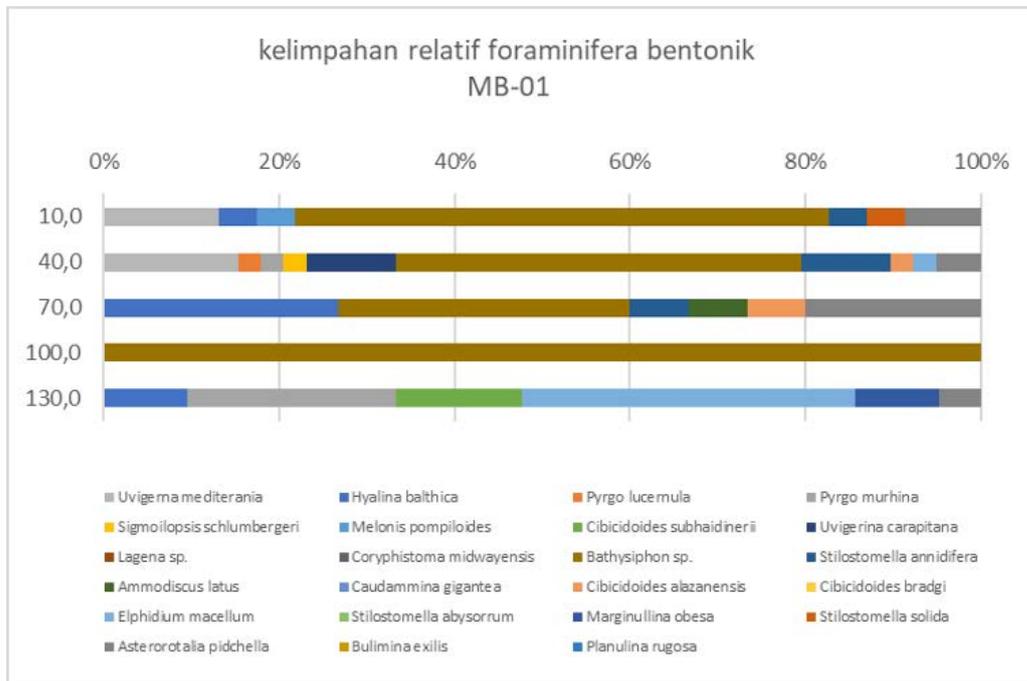
Gambar 3. Kelimpahan relatif foraminifera planktonik pada sampel MB-01. Taksa foraminifera yang paling melimpah pada tiap sampel antara lain *Globigerinoides immaturus*, *Globorotalia crassaformis*, *Globorotalia menardii*, dan *Orbulina universa*.



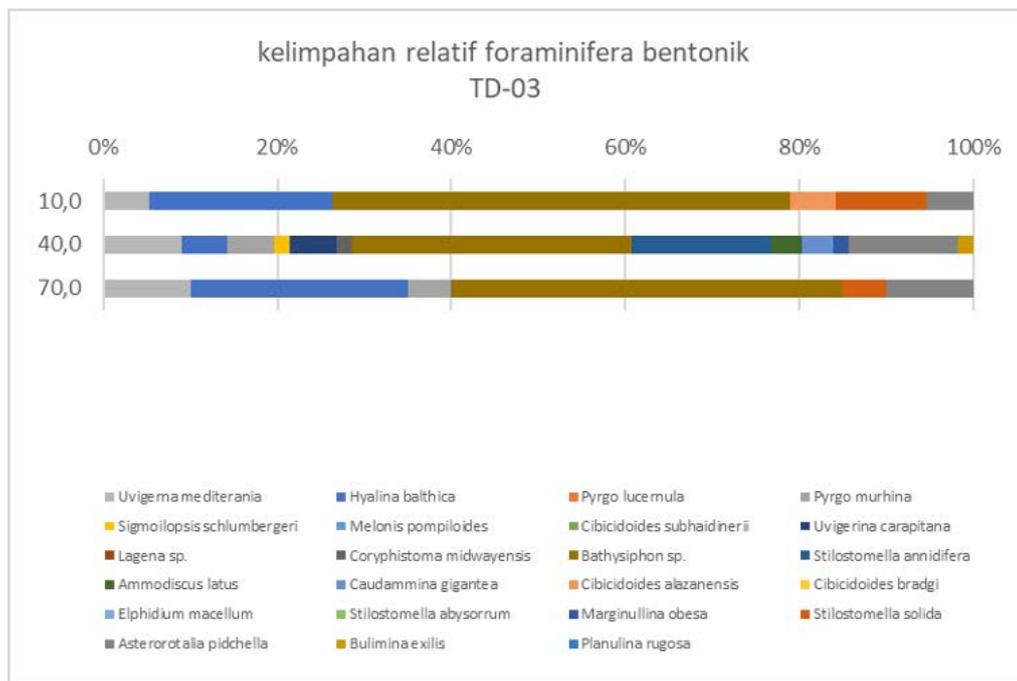
Gambar 4. Kelimpahan relatif foraminifera planktonik pada sampel TD-03. Taksa foraminifera planktonik yang paling melimpah antara lain *Globigerinoides immaturus*, *Globorotalia menardii*, dan *Sphaeroidinella subdehiscens*.



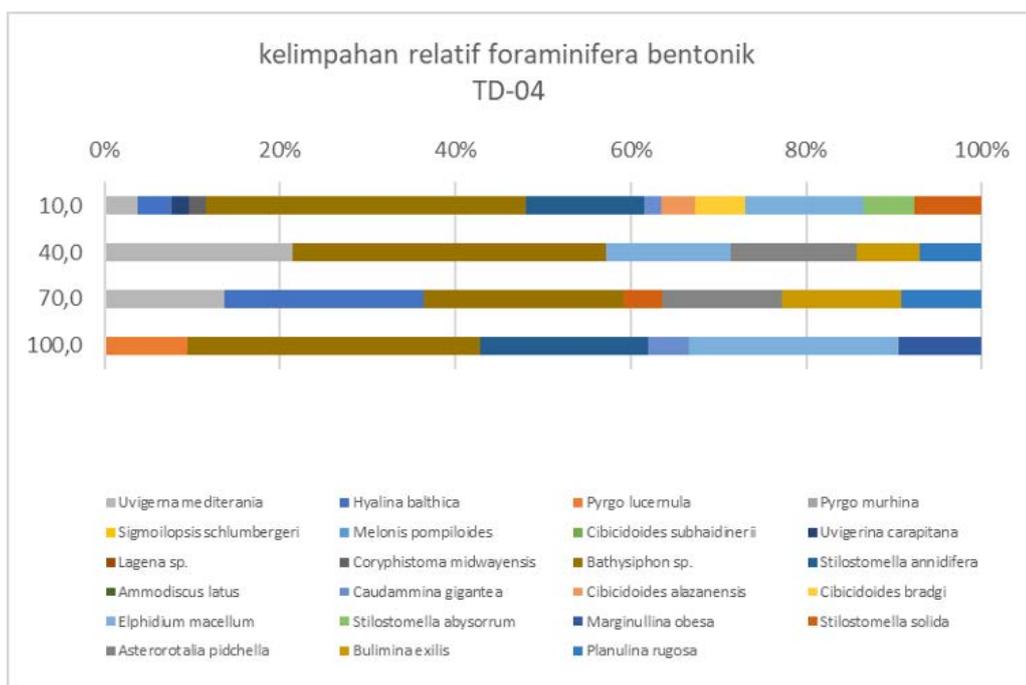
Gambar 5. Kelimpahan relatif foraminifera planktonik pada sampel TD-04. Taksa foraminifera yang paling melimpah antara lain *Globigerinoides immaturus*, *Globorotalia menardii*, *Globigerina praebulloides*, dan *Orbulina universa*.



Gambar 6. Kelimpahan relatif foraminifera bentonik pada sampel MB-01. Taksa foraminifera yang paling melimpah antara lain *Bathysiphon sp.*, *Uvigerina mediterania*, *Pyrgo murhina*, dan *Elphidium macellum*.



Gambar 7. Kelimpahan relatif foraminifera bentonik pada sampel TD-03. Taksa foraminifera yang paling melimpah antara lain *Bathysiphon* sp. dan *Hyalina balthica*.



Gambar 8. Kelimpahan relatif foraminifera bentonik pada sampel TD-04. Taksa foraminifera yang paling melimpah antara lain *Bathysiphon* sp., *Hyalina balthica*, dan *Uvigerina mediterania*.

tidak mewakili komunitas asli perairan di mana sampel tersebut diambil, dikarenakan merupakan hasil transportasi dari tempat lain.

Pengaruh Proses Sedimentasi Terhadap Distribusi Foraminifera

Berdasarkan peta batimetri Laut Jawa, perairan Delta Wulan memiliki kedalaman 0 – 10 m (Marfai dr., 2016). Kondisi topografi dasar perairan yang dangkal dan rata menyebabkan transport sedimen oleh sungai akan

mengalami penumpukan pada bagian mulut sungai sehingga lama kelamaan menjadi delta. Aliran sungai yang membentuk Delta Wulan berasal dari Sungai Wulan yang memiliki dua cabang utama. Saat ini aliran sungai yang menuju ke laut hanya melewati satu aliran saja dikarenakan aliran lainnya dibendung oleh masyarakat untuk keperluan perikanan. Penutupan salah satu aliran sungai ini berdampak pada proses sedimentasi di delta.

Marfai dr. (2016) menyebutkan bahwa morfodinamika Delta Wulan ditandai dengan

pembentukan endapan gosong yang memanjang ke arah barat dari mulut Sungai Wulan. Pembentukan gosong pantai ini menyebabkan bentuk Delta Wulan yang awalnya menyerupai kaki burung (tipe *bird-foot*) perlahan mulai berubah dengan terbentuknya endapan gosong yang memanjang searah garis pantai dan melengkung ke dalam (*lobate*). Marfai dr. (2016) juga memprediksi morfologi Delta Wulan ini akan terus mengalami perubahan menjadi memanjang searah garis pantai di masa yang akan datang.

Proses perubahan bentuk Delta Wulan ini sangat erat kaitannya dengan proses sedimentasi khususnya dengan adanya pembentukan endapan gosong memanjang. Menurut Atmodjo dr. (2016a), endapan gosong memanjang mulai terbentuk akibat adanya kenaikan intensitas arus laut yang mentransport kembali material sedimen dari darat di muara sungai. Akibatnya terbentuk endapan dengan arah memanjang sejajar dengan garis pantai. Perubahan pola fasies sedimentasi di Delta Wulan menunjukkan pola progradasi akibat peningkatan suplai sedimen dari darat sehingga terjadi penurunan ruang akomodasi. Material sedimen yang menumpuk di muara kemudian tersapu oleh gelombang dari laut dan terbentuklah gosong memanjang pantai (Atmodjo dr., 2016b)

Pada penelitian ini, karakteristik sedimen menunjukkan pola mengkasar ke atas pada semua sampel, hal ini selaras dengan penelitian Atmodjo dr. (2016b) yang menyebutkan bahwa sedimen di Delta mengalami perubahan vertikal mengkasar ke atas. Pola tersebut merupakan salah satu penciri pola penumpukan sedimen progradasi. Selain itu, terdapat fragmen cangkang moluska dalam kondisi tafonomi terfragmentasi tinggi dan tersebar acak tanpa orientasi arah tertentu yang disebabkan oleh tingginya intensitas gelombang air laut yang mengangkut material sedimen di Delta Wulan. Namun pada sampel TB-03, cangkang moluska yang terkandung dalam sampel sedimen cenderung berbentuk lebih utuh daripada sampel lainnya. Hal ini disebabkan karena lokasi pengambilan sampel TB-03 yang berada di daerah laguna yang memiliki intensitas gelombang laut yang lebih rendah.

Distribusi foraminifera di semua sampel menunjukkan kelimpahan foraminifera planktonik yang jauh lebih dominan dari pada foraminifera bentonik. Foraminifera planktonik lebih banyak menempati wilayah perairan laut yang memiliki kondisi fisika-kimia yang stabil terutama karena mereka tidak tahan terhadap kondisi yang mengalami fluktuasi salinitas dan tingkat turbiditas yang tinggi (Bellier dr., 2010). Bellier dr. (2010) menambahkan bahwa produktivitas optimum foraminifera planktonik biasanya dijumpai di perairan yang jauh dari pantai, sedangkan foraminifera bentonik akan mendominasi perairan laut dangkal.

Beberapa taksa foraminifera bentonik penciri batimetri berhasil diidentifikasi, seperti *Pyrgo lucernula* dan *Pyrgo murhina* yang merupakan penciri lingkungan pantai; *Elphidium macellum* yang merupakan penciri daerah transisi; dan *Bathysiphon sp.* penciri laut dalam.

Keberadaan taksa penciri tersebut di perairan Delta Wulan menunjukkan bahwa mereka bukan berasal dari lingkungan delta yang kedalamannya cenderung dangkal (0-10 m), dan diinterpretasikan merupakan hasil pengendapan gosong memanjang pantai. Perbedaan intensitas energi pengendapan di depan gosong pantai dan di laguna berpengaruh terhadap sebaran fragmen cangkang moluska namun tidak berpengaruh terhadap pola distribusi foraminifera. Alasannya adalah karena perbedaan ukuran butir cangkang foraminifera dan moluska di mana cangkang foraminifera berukuran lebih kecil dari pada cangkang moluska, sehingga perbedaan energi pengendapan yang kecil tidak terlalu berpengaruh terhadap pola distribusi foraminifera.

KESIMPULAN

Distribusi foraminifera pada sampel sedimen yang diambil di berbagai lokasi di sekitar endapan gosong pantai Delta Wulan menunjukkan kelimpahan yang didominasi oleh jenis foraminifera planktonik. Taksa foraminifera planktonik yang ditemukan melimpah di seluruh sampel antara lain *Sphaeroidinella subdehiscens*, *Globorotalia menardii*, dan *Orbulina universa*. Taksa lainnya yang juga teridentifikasi banyak ditemukan di hampir semua sampel antara lain adalah *Sphaeroidinella dehiscens*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides trilobus*, dan *Globorotalia crassaformis*. Taksa tersebut merupakan kelompok foraminifera planktonik yang umum dijumpai secara melimpah di perairan laut daerah tropis. Sementara itu, takson foraminifera bentonik yang paling melimpah adalah *Bathysiphon sp.* Terdapat pula taksa penciri batimetri yaitu *Pyrgo lucernula* dan *Pyrgo murhina* yang merupakan penciri lingkungan pantai; *Elphidium macellum* yang merupakan penciri daerah transisi; dan *Bathysiphon sp.* penciri laut dalam.

Distribusi foraminifera pada sampel sedimen endapan gosong pantai Delta Wulan menunjukkan pola distribusi yang umum ditemukan di perairan laut dalam, padahal sampel sedimen yang dianalisis diambil di lokasi yang dangkal. Hal ini disebabkan cangkang foraminifera yang terkandung dalam sampel sedimen, kemungkinan berasal dari transportasi gelombang laut yang mengarah ke daratan dan terakumulasi di daerah penelitian.

Hasil analisis karakteristik sedimen di gosong pantai Delta Wulan menunjukkan, semakin ke atas, endapan sedimen memiliki ukuran butir yang semakin kasar. Pola penumpukan sedimen diidentifikasi sebagai pola progradasi yang mencerminkan perubahan proses sedimentasi akibat penurunan ruang akomodasi. Oleh sebab itu, material sedimen yang terakumulasi pada bagian depan delta terangkut kembali oleh gelombang dari laut menuju ke darat dengan arah pengendapan sejajar dengan garis pantai membentuk gosong memanjang pantai.

Proses sedimentasi tersebut diduga turut mengangkut sejumlah cangkang foraminifera dari lingkungan laut yang lebih dalam menuju ke daerah penelitian. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa pola

distribusi cangkang foraminifera di daerah penelitian dipengaruhi oleh proses pengendapan dalam pembentukan endapan gosong pantai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Hasan Tri Atmojo yang telah memberikan ijin penggunaan sampel sedimen. Terima kasih juga disampaikan kepada Alm. Irfan Cibaj sebagai pembimbing lapangan yang telah banyak memberikan nasihat dan inspirasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Armstrong, H.A. dan Brasier, M.D., 2005. *Microfossils*. Blackwell Publishing, Victoria, Australia, 2nd ed., 295 p.
- Atmojo, H.T., Rizal, A., Nauval, F., Sadewo, D.W., Hanendra, A., Nugroho, H., Kurniasih, A., dan Cibaj, I., 2016a. Gosong pantai Deposits in A Modern Fluvial-Dominated Delta: A Case Study from The Wulan Delta, Demak, Central Java, Indonesia. *Berita Sedimentologi*, 36, p. 44 – 65.
- Atmojo, H.T., Wicaksana, H.I., Rizal, A., Cibaj, I., Nugroho, H., dan Ralanarko, D., 2016b. 3D Modelling of Gosong pantai Deposit in Modern Fluvial Dominated Delta: Case Study of Wulan Delta, Demak, Central Java Province. *AAPG Proceedings, 12th Middle East Geosciences Conference and Exhibition 2016*, 51274.
- Bellier, J-P., Mathieu, R., dan Granier, B., 2010. Short Treatise on Foraminiferology (Essential on Modern and Fossil Foraminifera. *Online Manuscript*, www.foraminifera.eu.
- Boltovskoy, E. dan Wright, R.C., 1976. *Recent Foraminifera*. Springer Dordrecht, The Hague. 515 p.
- Fellowes, T.E., Gacutan, J., Harris, D.L., Vila-Concejo, A., Webster, J.M., dan Byrne, M., 2016. Patterns of Sediment Transport Using Foraminifera Tracers Across Sand Aprons on The Great Barrier Reef. *Journal of Coastal Research*, Vol. 33, 4, p. 864 – 873. doi: 10.2112/JCOASTRES-D-16-00082.1
- Gibson, T.G., 1989. Planktonic Benthonic Foraminiferal Ratios: Modern Patterns and Tertiary Applicability. *Marine Micropaleontology*, 15, 1-2, p. 29 – 52.
- Hartati, R., Zainuri, M., Endrawati, H., Widianingsih, W., Manuhuwa, B.A., dan Pribadi, R., 2021. Planktonic Foraminifera in The Seafloor of Wulan Estuary of Demak, Central of Java, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 919, 012002. doi: 10.1088/1755-1315/919/1/012002
- Kucera, M., WEinelt, M., Kiefer, T., Pflaumann, U., Hayes, A., Weinelt, M., Chen, M-T., Mix, A.Ac., Barrows, T.T., Cortijo, E., Duprat, J.M., Juggins, S., Waelbroeck, C., 2005. Reconstruction of Sea-Surface Temperatures from Assemblages of Planktonic Foraminifera: Multi-Technique Approach Based on Geographically Constrained Calibration Datasets and Its Application to Glacial Atlantic and Pacific Oceans. *Quaternary Science Reviews*, 24, p. 951 – 998. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.07.014>
- Kurniasih, A., Nugroho, S.H., dan Setyawan, R., 2017. Marine Ecology Conditions at Weda Bay, North Maluku Based on Statistical Analysis on Distribution of Recent Foraminifera. *MATEC Web Conf. Sriwijaya International Conference on Engineering, Science and Technology (SICEST 2016)*, Vol. 101, 04014. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710104014>
- Manuhuwa, B.A., Hartati, R., dan Endrawati, H., 2021. Analisis P/B Rasio Foraminifera di Perairan Delta Wulan, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, Vol. 10, 1, h. 23 – 28. doi: 10.14710/jmr.v10i1.27883
- Marfai, M.A., Tyas, D.W., Nugraha, I., Ulya, A.F., dan Riasasi, W., 2015. The Morphodynamics of Wulan Delta and Its Impacts on The Coastal Community in Wedung Subdistrict, Demak Regency, Indonesia. *Journal of Environmental Protection*, 7, p. 60 – 71. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.71006>
- Morkhoven, F.P.C.M., Berggren, W.A., dan Edward, A.S., 1986. *Cenozoic Cosmopolitan Deep-water Benthic Foraminifera*. Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine Memoire, France. 421 p.
- Murray, J.W., 2006. *Ecology and Applications of Benthic Foraminifera*. Cambridge University Press, England. 426 p.
- Natsir, S.M., Dewi, K.T., Ardhyastuti, S., 2017. Keterkaitan Foraminifera dan Kedalaman Perairan Sebelah Tenggara Pulau Seram, Maluku. *Jurnal Geologi Kelautan*, Vol. 15, 2, h. 73 – 79.
- Nugroho, S.H., Zaim, Y., Yulianto, E., Rizal, Y., Kurniasih, A., Putra, P.S., Wibowo, S.P.A., dan Amar, 2021. A Preliminary Study in Vertical Distribution of Planktonic Foraminifera and Marine Ecological Conditions of Simeulue Sub-Basin, Aceh, Indonesia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, Vol. 72, p. 137 – 149. doi: <https://doi.org/10.7186/bgsm72202111>
- Postuma, J.A., 1971. *Manual of Planktonic Foraminifera*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam. 422 p.
- Valchev, B., 2003. On The Potential of Small Benthic Foraminifera as Paleoecological Indicators: Recent Advances. *50 Years University of Mining and geology "St. Ivan Rilski" Annual*, Vol. 46, I, p. 189 – 194.

Tipword, H.L., Setzer, F.M., dan Smith, F.L. Jr., 1966.
Interpretation of Depositional Environment in Gulf
Coast Petroleum from Paleocology and Related

Stratigraphy. *Gulf Coast Association of Geological
Societies Transactions*, Vol. 16, p. 119 – 130.

ANALISIS SEBARAN SEDIMEN DASAR DI PERAIRAN PESISIR PANTAI GOSONG KABUPATEN BENGKAYANG KALIMANTAN BARAT

ANALYSIS OF BED LOAD SEDIMENT DISTRIBUTION IN GOSONG BEACH WATERS BENGKAYANG REGENCY WEST KALIMANTAN

Muhardi^{1*}, Zulfian¹, Riza Adriat¹, Yusuf Arief Nurrahman², Mega Sari Juane Sofiana², Heni Susiati³ dan Risiko⁴

¹ Program Studi Geofisika, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 78124, Indonesia

² Program Studi Ilmu Kelautan, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 78124, Indonesia

³ Badan Riset dan Inovasi Nasional, Direktorat Lingkungan Hidup, Kemaritiman, Sumber Daya Alam dan Ketenaganukliran, Indonesia

⁴ Jurusan Ilmu Kelautan dan Perikanan, Politeknik Negeri Pontianak, Pontianak, 78124, Indonesia

*muhardi@physics.untan.ac.id

Diterima : 13-03-2023 , Disetujui : 06-04-2023

ABSTRAK

Perairan pesisir pantai Gosong merupakan salah satu perairan yang dimanfaatkan berbagai macam aktivitas diantaranya adalah sebagai pelabuhan perikanan, keluar masuknya kapal dan termasuk kawasan strategis dalam pengembangan kawasan pesisir. Aktivitas tersebut akan berdampak kepada proses pengendapan sedimen dasar yang mengakibatkan terjadinya pendangkalan, perubahan garis pantai dan penurunan kualitas air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran dan jenis sedimen dasar berdasarkan analisis parameter statistik ukuran butir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode granulometri sedimen dan pendekatan statistik ukuran butir. Pengambilan sampel sedimen dan kecepatan arus dilakukan masing – masing sebanyak 10 titik stasiun. Sedangkan pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari dengan interval waktu setiap 1 jam. Berdasarkan analisis granulometri diperoleh bahwa sebaran sedimen yang mendominasi di lokasi ini adalah lanau dengan tipe sedimen lempung berlumpur (*silty clay*). Hasil analisis ukuran butir dengan pendekatan statistik diperoleh nilai ukuran butir rata – rata 1,31 – 2,96 dengan klasifikasi pasir halus (*fine sand*) dan pasir sedang (*medium sand*). Untuk nilai sortasi terdapat tiga stasiun yang mempunyai klasifikasi terpilah sedang yaitu pada Stasiun 3, 6 dan 8, sedangkan pada stasiun lainnya didominasi pada klasifikasi terpilah buruk. Nilai *skewness* secara umum menunjukkan klasifikasi ukuran butir sedimen condong sangat halus (*very fine skewed*) dengan rentang nilai berkisar antara 0,63 – 2,04. Sedangkan nilai *kurtosis* diperoleh tiga klasifikasi ukuran butir sedimen yaitu tumpul (*platycuric*), cukup tumpul (*mesokurtic*) dan runcing (*leptokurtic*). Nilai kurtosis yang diperoleh memperlihatkan bahwa semakin dalam nilai kurtosis yang dihasilkan semakin kecil yaitu pada kedalaman 4,9 m nilai kurtosisnya 0,737 dan pada kedalaman 1,1 m nilai kurtosisnya 1,417.

Kata kunci: Sebaran sedimen, ukuran butir, granulometri, perairan Pantai Gosong

ABSTRACT

The coast of Pantai Gosong is used for various activities, including as a fishing port. In addition, they are a strategic area in developing the coastal regions. These activities will impact the deposition process of bottom sediments, resulting in siltation, changes in the coastline, and a decrease in water quality. This study aimed to determine the distribution and types of bottom sediments based on grain size statistical parameters analysis. The methods used in this study are the sediment granulometry method and the grain size statistical approach. Sediment sampling and current velocity were conducted at 10 station points each. At the same time, tidal measurements were carried out for 15 days with a time interval of every 1 hour. Based on the granulometric analysis, it is found that the dominating sediment distribution in this location is silt with silty clay sediment type. The results of grain size analysis using a statistical approach obtained an average grain size value of 1.31 - 2.96 with the classification of fine sand and medium sand. Three stations have moderately disaggregated classifications, namely at Stations 3, 6, and 8, while the other stations are arranged in a poorly disaggregated category. The skewness value generally indicates a very fine skewed sediment grain size classification with values ranging from 0.63 to 2.04. At the same time, the kurtosis value obtained three types of sediment grain size, platycuric, mesokurtic, and leptokurtic. The kurtosis value shows that the more profound the kurtosis value produced, the smaller it is; at a depth of 4.9 m, the kurtosis value is 0.737, and at a depth of 1.1 m, the kurtosis value is 1.417.

Keyword: Sediment distribution, grain size, granulometry, Gosong Beach waters

PENDAHULUAN

Perairan pesisir pantai Gosong terletak di Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Kawasan ini merupakan perairan yang dimanfaatkan sebagai pelabuhan perikanan, keluar masuknya kapal penyeberangan antar pulau serta merupakan kawasan strategis dalam pengembangan kawasan pesisir direncanakan sebagai lokasi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) (Susiaty drr., 2021; Muhandi drr., 2021). Pemanfaatan kawasan tersebut akan berdampak kepada proses pengendapan sedimen dasar perairan yang akan mengakibatkan terjadinya pendangkalan, perubahan garis pantai dan penurunan kualitas air (Huang, 2011; Nuraini dan Wiyanto, 2021).

Menurut Atmadja drr. (1988) sedimen dasar memiliki peranan penting dalam pertumbuhan bentuk perairan, karena sebagai tempat berjangkarnya akar serta penyedia unsur hara dan berbagai jenis bakteri dalam rantai makanan suatu perairan. Menurut Wibisono (2005), laju endapan bergantung dari besar butir partikel yang diendapkan. Sedimen yang mengendap memiliki kategori bentuk yang berbeda-beda seperti kebundaran dan keruncingan. Proses klasifikasi sedimen dapat memberikan informasi asal usul sedimen dan pola transportasi sedimen. Proses transportasi sedimen ini memberikan pengaruh terhadap ukuran butiran sedimen (Wolanski, 2007; Purnawan drr. 2012; Setiawan dan Subiandono, 2015; Randa drr., 2021). Ukuran butiran sedimen merupakan aspek yang paling dasar dari partikel sedimen yang memengaruhi proses sedimentasi, transportasi dan pengendapan (Blott drr., 2001; Gemilang drr., 2018).

Penelitian mengenai sebaran sedimen dasar merupakan suatu hal yang penting dilakukan terutama tentang jenis sedimen serta sebaran sedimen yang berperan sebagai pemasok utama terjadinya perubahan kedalaman terhadap suatu perairan. Salah satu cara untuk menentukan sebaran sedimen dasar perairan adalah dengan menggunakan analisis granulometri sedimen dan

pendekatan statistik ukuran butir sedimen seperti rata-rata (*mean*), keseragaman butir (*sorting*), *skewness* dan *kurtosis* (Folk, 1974; Dyer, 1986; Surjono drr., 2010; Kamarz drr., 2015). Analisis ukuran butir sedimen dilakukan untuk menentukan tipe sedimen dan persebarannya, dan untuk mengetahui dinamika dan energi di lingkungan pengendapannya (Stewart, 1958). Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran dan jenis sedimen dasar berdasarkan analisis parameter statistik ukuran butir sedimen yang terjadi di sepanjang perairan Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat.

METODE

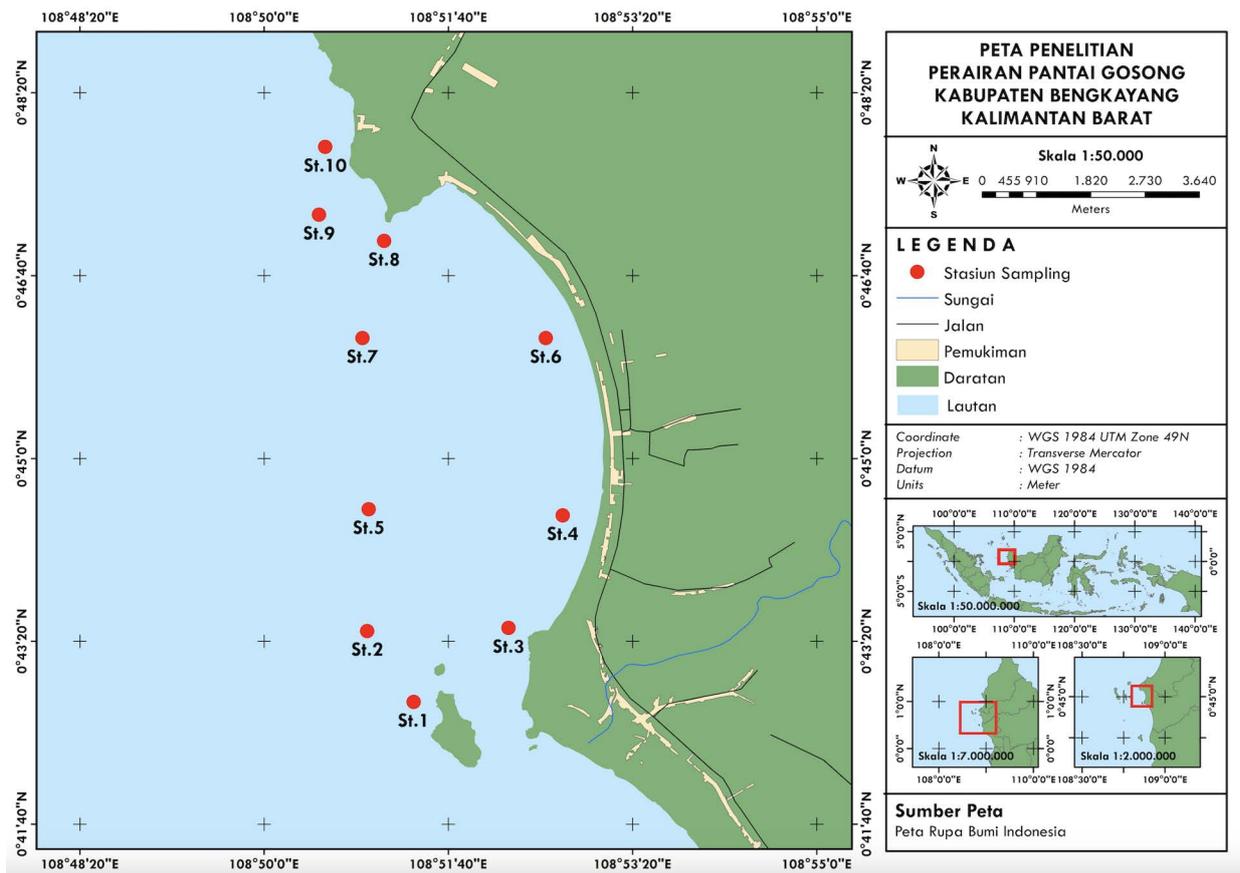
Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret - April 2022 di perairan pesisir Sungai Raya, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Pengambilan sampel sedimen tersebut terdiri dari sepuluh titik stasiun yang diambil menggunakan Sedimen Grab (Gambar 1). Pengukuran di lapangan meliputi beberapa pengukuran parameter oseanografi diantaranya adalah pengukuran kecepatan arus pada dua kedalaman yang mewakili pada masing-masing lapisan permukaan dan lapisan dasar perairan serta pengukuran pasang surut dilakukan selama 15 hari dengan selang waktu interval setiap 1 jam.

Analisis Data

Metode Analisis Pasang Surut

Analisis data pasang surut dilakukan menggunakan metode *admiralty* untuk memperoleh besaran nilai pada komponen pasang surut. Metode *admiralty* ini digunakan untuk menghitung konstanta harmonik pasang surut yang terdiri dari tinggi air laut rata-rata (*mean sea level*), amplitudo dan *fase* komponen utama pasang surut. Konstanta harmonik pasang surut tersebut dihitung sehingga diperoleh bilangan *Formzahl* untuk menentukan tipe pasang surut di wilayah suatu perairan (Rawi, 2010;



Gambar 1. Lokasi stasiun pengambilan sampel sedimen di perairan Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat (Sumber : Peta Rupa Bumi Indonesia)

Lanuru, 2011). Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai bilangan *Formzahl* adalah sebagai berikut (Pond and Pickard, 1983; Yuwono, 1994):

$$F = \frac{O_1 + K_1}{M_2 + S_2} \quad (1)$$

Keterangan:

F = Bilangan *Formzahl*

K_1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik matahari

O_1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama yang disebabkan gaya tarik bulan

M_2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik bulan

S_2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama yang disebabkan gaya tarik matahari

Metode Analisis Sedimen

Analisis sedimen dilakukan menggunakan metode granulometri untuk mengetahui sebaran dan klasifikasi ukuran butir sedimen (Hubbard dan Pocock, 1972; Nugroho, 2014). Penentuan persentase dan jenis sedimen dilakukan berdasarkan klasifikasi diagram segitiga tekstur menurut USDA (Foth, 1994). Sedangkan klasifikasi ukuran butir sedimen seperti rata-rata ukuran butir, *sortasi*, *skewness* dan *kurtosis* dilakukan dengan

pendekatan statistik menggunakan skala ϕ (φ) yang dihitung menggunakan persamaan logaritmik (Wentworth, 1922; Folk and Ward, 1957)

$$\varphi = -\log_2 d \quad (1)$$

Dengan $\overline{\varphi}$ dan d masing, masing adalah ukuran butir dan diameter butir (mm).

Rata-rata ukuran butir (*mean size*)

Penentuan nilai rata-rata ukuran butir (*mean size*) dilakukan untuk mengetahui ukuran pemusatan sedimen. Nilai tersebut mencerminkan ciri energi pengendapan oleh air atau angin dalam sebaran sedimen (Richard, 1992; Nugroho, 2014). Perhitungan rata – rata ukuran butir dapat dihitung menggunakan persamaan (Folk dan Ward, 1957) :

$$M_z = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{50} + \varphi_{84}}{3} \quad (2)$$

Dengan φ_{16} , φ_{50} , φ_{84} masing – masing adalah ukuran butir 16%, 50%, dan 84%. Konversi nilai rata-rata terhadap ukuran butir sedimen dalam klasifikasi Folk dan Ward dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi nilai rata-rata ukuran (Folk and Ward, 1957)

Nilai <i>Mean</i>	Skala <i>Folk</i>
< -1	kerikil (<i>gravel</i>)
-1 - 0	pasir sangat kasar (<i>very coarse sand</i>)
0 - 1	pasir kasar (<i>coarsed sand</i>)
1 - 2	pasir sedang (<i>medium sand</i>)
2 - 3	pasir halus (<i>fine sand</i>)
3 - 4	pasir sangat halus (<i>very fine sand</i>)
4 - 8	lanau (<i>silt</i>)
>8	lempung (<i>clay</i>)

Pemilahan Ukuran Butir Sedimen (*Sortasi*)

Sortasi merupakan penyebaran ukuran butir terhadap ukuran butir rata-rata (Darlan, 1996; Fredman dan Sanders, 1968). Menurut Folk (1968) nilai *sortasi* dapat menunjukkan keanekaragaman ukuran butir, tipe, karakteristik dan waktu proses sedimentasi dari sedimen. Penentuan *sortasi* ini dilakukan dengan mencari nilai standar deviasi yang ditentukan dengan persamaan (Folk and Ward, 1957) :

$$\sigma_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad (3)$$

Dengan $\phi_5, \phi_{15}, \phi_{18}, \phi_{84}, \phi_{95}$ masing-masing merupakan ukuran butir 5%, 16%, 18%, 84% dan 95%. Pengelompokan nilai *sortasi* ini mengacu pada klasifikasi Folk (1974) (Tabel 2).

Kemencengan (*Skewness*)

Nilai *skewness* merupakan penyimpangan distribusi ukuran butir terhadap distribusi normal. Butiran yang lebih kasar serta lebih halus tersebar di sisi kanan dan kiri dalam jumlah yang sama. Apabila dalam suatu distribusi ukuran butir berlebihan partikel kasar, maka kemencengannya bernilai negatif dan begitu pula sebaliknya apabila distribusi ukuran butir berlebihan partikel halus, maka kemencengannya bernilai positif yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Folk, 1974; Blott dan Pye, 2001):

Tabel 2. Klasifikasi *sortasi* (Folk, 1974)

<i>Sortasi</i>	Skala <i>Folk</i>
< 0,35	terpilah sangat baik (<i>very well sorted</i>)
0,35 - 0,50	terpilah baik (<i>well sorted</i>)
0,50 - 0,71	terpilah cukup baik (<i>moderately well sorted</i>)
0,71 - 1,00	terpilah sedang (<i>moderately sorted</i>)
1,00 - 2,00	terpilah buruk (<i>poorly sorted</i>)
2,00 - 4,00	terpilah sangat buruk (<i>very poorly sorted</i>)
> 4,00	terpilah ekstrim (<i>extremely sorted</i>)

Tabel 3. Klasifikasi *skewness* (Folk, 1974)

<i>Skewness</i>	Skala <i>Folk</i>
>0,30	condong sangat halus (<i>very fine skewed</i>)
0,10 - 0,30	condong halus (<i>fine skewed</i>)
0,10 - 0,10	simetris (<i>near symmetrical</i>)
-0,30 - -0,10	condong kasar (<i>coarse skewed</i>)
< -0,30	condong sangat kasar (<i>very coarse skewed</i>)

$$SK_t = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 + 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (4)$$

Dimana $\phi_5, \phi_{15}, \phi_{18}, \phi_{84}, \phi_{95}$ masing – masing adalah ukuran butir 5%, 16%, 50%, 84% dan 95%. Penentuan *skewness* berdasarkan nilai standar deviasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Peruncingan (*Kurtosis*)

Kurtosis menunjukkan kepuncakan atau kedataran distribusi dalam perbandingan antara distribusi normal. Ukuran ini tidak sering digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel pada sungai-sungai dengan dasar kerikil (Junaidi dan Wigati, 2011). *Kurtosis* dihitung dengan pendekatan Folk and Ward (1957) yang dikelompokkan ke dalam enam kategori seperti yang terlihat pada Tabel 4. Adapun persamaan untuk menghitung nilai *kurtosis* adalah sebagai berikut :

$$K_G = \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (5)$$

Tabel 4. Klasifikasi *kurtosis* (Folk and Ward, 1957)

<i>Kurtosis</i>	Skala Folk
<0,67	sangat tumpul (<i>very platykurtic</i>)
0,67 - 0,9	tumpul (<i>platykurtic</i>)
0,9 - 1,11	cukup tumpul (<i>mesokurtic</i>)
1,11 - 1,5	runcing (<i>leptokurtic</i>)
1,5 - 3	sangat runcing (<i>very leptokurtic</i>)
>3	sangat runcing sekali (<i>extremely leptokurtic</i>)

Dengan $\phi_5, \phi_{25}, \phi_{75}, \phi_{95}$ masing – masing adalah ukuran butir 5%, 25%, 75% dan 95%.

Tabel 6. Komponen Harmonik Pasang Surut

Konstanta Harmonik	g°/Fase	Amplitudo (cm)
K1	148.61	24.98
O1	48.60	18.80
M2	128.53	47.06
S2	353.74	124.29

Tabel 5. Kecepatan arus di perairan Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat

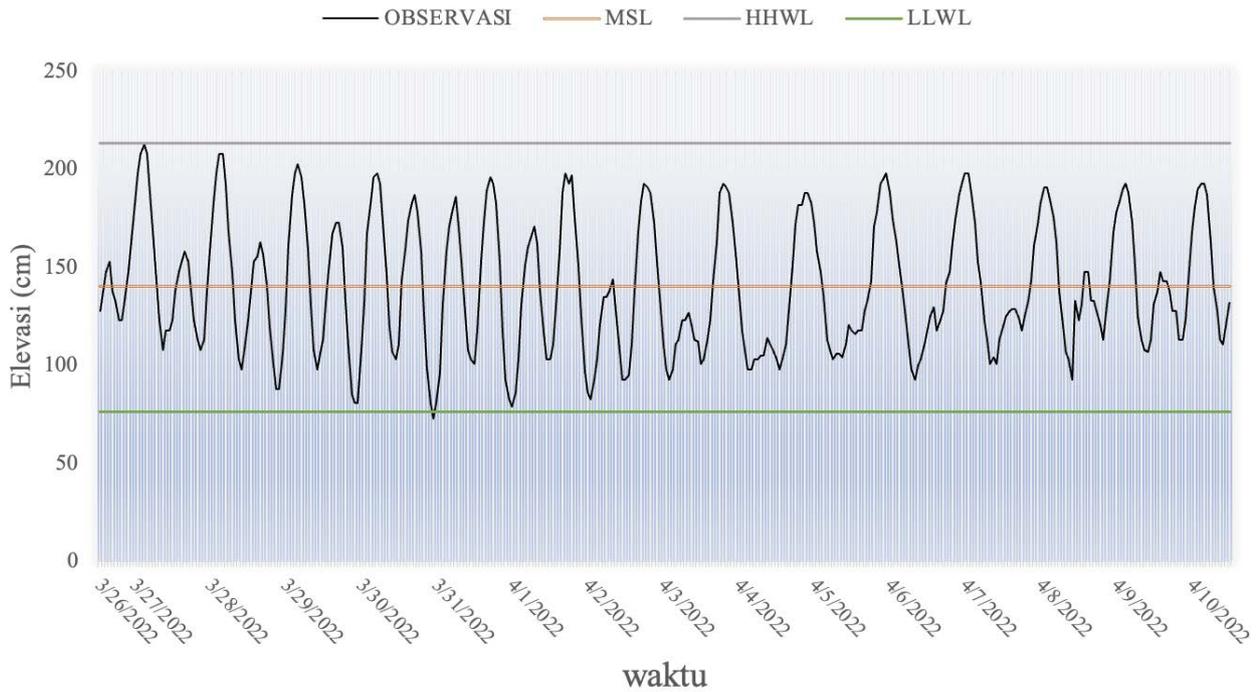
Stasiun	Kedalaman Dasar (m)	Kecepatan Arus (m/s)		Rata-rata
		0,2d	0,8d	
1	4,2	0,284	0,276	0,28
2	4,9	0,293	0,29	0,2915
3	1,1	0,089	0,083	0,086
4	1,1	0,085	0,085	0,085
5	4,7	0,292	0,291	0,2915
6	1,2	0,16	0,11	0,135
7	3,9	0,162	0,159	0,1605
8	2,3	0,24	0,24	0,24
9	2,7	0,28	0,24	0,26
10	2,2	0,217	0,211	0,214

HASIL

Kondisi Hidrodinamika Pasang Surut dan Arus di Perairan Pantai Gosong

Pasang surut dan arus merupakan salah satu faktor yang memengaruhi pola distribusi sedimen. Pasang surut dan arus pasut di perairan dapat mengindikasikan pergerakan massa air serta kaitannya sebagai faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu material dalam kolom air dimana penumpukan material tersebut memengaruhi perubahan karakteristik pantai dan hidrodinamika perairan (Mann dan Lazier, 2006). Pengukuran arus dilakukan pada dua kedalaman yaitu 0,2 *d* dan 0,8 *d* yang masing-masing mewakili kondisi kecepatan arus permukaan dan kecepatan arus dasar perairan (Tabel 5).

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis data yang dilakukan dengan metode *admiralty* diperoleh nilai konstanta harmonik pasang surut yang terdiri dari amplitudo dan *fase* komponen utama pasang surut (Tabel 6). Data konstanta harmonik tersebut digunakan dalam menentukan bilangan *Formzahl* dan MSL (*Mean Sea Level*) untuk menentukan tipe pasang surut. Dari nilai



Gambar 2. Grafik pasang surut hasil pengukuran di perairan Pantai Gosong

konstanta harmonik pasang surut diperoleh nilai MSL 1,40 m dan bilangan *Formzhal* 0,79. Berdasarkan nilai *Formzhal* (F) tersebut, maka diketahui tipe pasang surut di perairan Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat adalah campuran condong ke harian ganda.

dominasi jenis fraksi sedimen lanau di sepanjang bibir pantai.

Ukuran Butir Sedimen Dasar di Perairan Pantai Gosong

Analisis statistik ukuran butir sedimen secara umum

Tabel 7. Persentase sebaran dan tipe sedimen di perairan Pantai Gosong

Stasiun	Fraksi Sedimen (%)			Tipe Sedimen
	Pasir (<i>sand</i>)	Lanau (<i>silt</i>)	Lempung (<i>clay</i>)	
1	21	70	9	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)
2	12	66	22	Lempung Berpasir (<i>sandy clay</i>)
3	12	75	13	Lempung Berpasir (<i>sandy clay</i>)
4	11	77	12	Lempung (<i>clay</i>)
5	16	73	11	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)
6	10	60	30	Lempung Berpasir (<i>sandy clay</i>)
7	34	61	5	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)
8	13	58	29	Lempung Berpasir (<i>sandy clay</i>)
9	34	61	5	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)
10	37	58	5	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)
Rata-rata	20	65,9	14,1	Lempung Berlumpur (<i>silty clay</i>)

Karakteristik Sedimen Dasar di perairan Pantai Gosong

Berdasarkan hasil analisis ukuran butiran sedimen diperoleh 3 jenis sebaran fraksi sedimen yaitu pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) dengan masing-masing persentase seperti yang terlihat pada Tabel 7. Sebaran sedimen dasar di perairan Pantai Gosong

disifatkan oleh empat parameter diantaranya adalah *mean size*, *sortasi*, *skewness* dan *kurtosis*. Nilai rata-rata (*mean size*) dapat dikatakan sebagai rata-rata aritmatika dari berbagai ukuran butiran pada sampel sedimen. Nilai *sortasi* (standar deviasi) atau lebar dari distribusi menunjukkan besarnya sebaran ukuran partikel dari nilai rata-rata sampel sedimen. Nilai *skewness* mengukur tingkat asimetris dari distribusi data. Sementara nilai

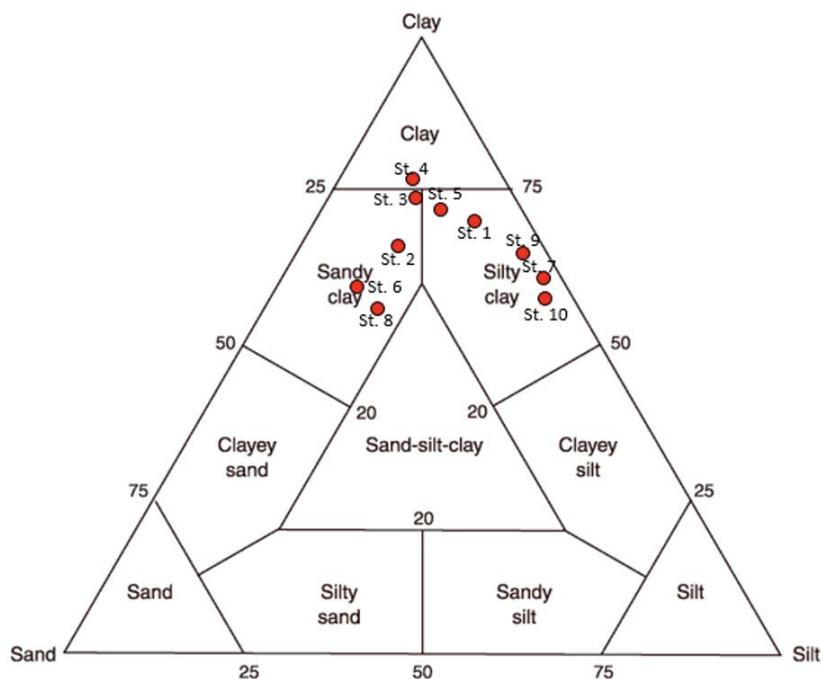
Tabel 8. Hasil analisis ukuran butir sedimen dengan pendekatan statistik di perairan Pantai Gosong

Stasiun	<i>Mz</i>	Klasifikasi	<i>Sortasi</i>	Klasifikasi	<i>Skewness</i>	Klasifikasi	<i>Kurtosis</i>	Klasifikasi
1	1,653	pasir sedang (medium sand)	1,381	terpilah buruk (poorly sorted)	0,629	condong sangat halus (very fine skewed)	0,775	tumpul (platycurtic)
2	1,310	pasir sedang (medium sand)	1,453	terpilah buruk (poorly sorted)	0,661	condong sangat halus (very fine skewed)	0,737	tumpul (platycurtic)
3	2,963	pasir halus (fine sand)	0,757	terpilah sedang (moderately sorted)	1,700	condong sangat halus (very fine skewed)	1,417	runcing (leptokurtic)
4	1,993	pasir sedang (medium sand)	1,160	terpilah buruk (poorly sorted)	0,870	condong sangat halus (very fine skewed)	1,418	runcing (leptokurtic)
5	1,793	pasir sedang (medium sand)	1,321	terpilah buruk (poorly sorted)	0,784	condong sangat halus (very fine skewed)	0,804	tumpul (platycurtic)
6	2,657	pasir halus (fine sand)	0,845	terpilah sedang (moderately sorted)	1,730	condong sangat halus (very fine skewed)	0,976	cukup tumpul (mesokurtic)
7	1,813	pasir sedang (medium sand)	1,153	terpilah buruk (poorly sorted)	0,807	condong sangat halus (very fine skewed)	0,894	tumpul (platycurtic)
8	2,703	pasir halus (fine sand)	0,768	terpilah sedang (moderately sorted)	2,040	condong sangat halus (very fine skewed)	0,951	cukup tumpul (mesokurtic)
9	2,410	pasir halus (fine sand)	1,277	terpilah buruk (poorly sorted)	0,826	condong sangat halus (very fine skewed)	0,970	cukup tumpul (mesokurtic)
10	2,003	pasir halus (fine sand)	1,173	terpilah buruk (poorly sorted)	0,842	condong sangat halus (very fine skewed)	0,934	cukup tumpul (mesokurtic)

kurtosis menunjukkan tingkat kepuncakan atau kedataran kurva distribusi berbanding terhadap distribusi normal (Dyer, 1986). Hasil analisis perhitungan dengan pendekatan statistik ukuran butir sedimen dapat di lihat pada Tabel 8.

PEMBAHASAN

Hasil analisis granulometri sedimen diperoleh nilai rata – rata persentase fraksi sedimen pasir, lanau dan pasir masing – masing adalah 20%, 65,9% dan 14,1%. Berdasarkan hasil tersebut memperlihatkan bahwa perairan Pantai Gosong didominasi oleh jenis sebaran fraksi sedimen lanau dengan tipe sedimen lempung berlumpur (*silty clay*) (Gambar 3). Menurut Irham *drr.* (2020),



Gambar 3. Jenis sedimen dasar berdasarkan diagram *Shepard* di perairan Pantai Gosong

bahwa substrat lumpur merupakan endapan yang dihasilkan dari pergerakan air laut dengan energi yang lemah. Selain itu Nybakken (1992) juga menyatakan bahwa jika arus lemah maka partikel yang mengendap adalah lanau dan lempung. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pengukuran kecepatan arus yang termasuk dalam kategori arus lemah yaitu 0,2 m/s. Arus dikategorikan lemah jika kecepatannya < 0,4 m/s (Djurdjani, 1998). Substrat yang berupa lumpur menunjukkan bahwa di lokasi mempunyai tingkat sedimentasi yang cukup tinggi (Pamuji *drr.*, 2015).

Berdasarkan analisis sebaran sedimen dengan pendekatan statistik di perairan Pantai Gosong diperoleh nilai diameter rata – rata (M_z) ukuran butir sedimen berkisar 1,31 – 2,96 dengan klasifikasi pasir halus (*fine sand*) dan pasir sedang (*medium sand*). Pada stasiun yang mempunyai klasifikasi pasir sedang diduga selain dipengaruhi kecepatan arus yang lebih besar, juga diakibatkan adanya proses pengikisan garis pantai yang diakibatkan gelombang. Nilai M_z digunakan untuk ukuran pemusatan sedimen dan untuk menggambarkan proses transportasi dan pengendapan sedimen berdasarkan kecepatan arus (Rifardi, 2008; Sivasamandy dan Ramesh, 2014; Nugroho dan Basit, 2014). Kecepatan arus yang lambat didominasi oleh ukuran butir yang dikategorikan halus dan kecepatan arus yang kuat didominasi oleh ukuran yang dikategorikan lebih kasar.

Nilai sortasi seluruh sampel sedimen dasar pada setiap stasiun diperoleh nilai berkisar antara 0,76 - 1,45 dengan klasifikasi terpilah buruk (*poorly sorted*) dan terpilah sedang (*moderately sorted*). Terdapat 3 stasiun yang mempunyai klasifikasi terpilah sedang yaitu Stasiun 3, 6 dan 8, sedangkan pada stasiun lainnya didominasi pada klasifikasi terpilah buruk. Pada klasifikasi sedimen terpilah buruk dipengaruhi oleh kecepatan arus yang bervariasi (tidak tetap) pada setiap saat sehingga mengakibatkan ukuran partikel sedimen yang diendapkan terakumulasi secara acak (Ingmanson dan Wallace, 1989; Rifardi, 2012).

Nilai *skewness* diperoleh di perairan Pantai Gosong berkisar antara 0,63 – 2,04 yang secara umum menunjukkan klasifikasi ukuran butir sedimen condong sangat halus (*very fine skewed*). Hasil ini serupa dengan hasil yang dilakukan oleh Gemilang *drr.* (2018) di daerah Pantai Utara Jawa bahwa kondisi *skewness* secara umum pada daerah tersebut berada pada substrat berukuran halus yaitu lanau hingga lumpur. Untuk nilai *kurtosis* terdapat tiga klasifikasi ukuran butir sedimen yaitu tumpul (*platycurtic*), cukup tumpul (*mesokurtic*) dan runcing (*leptokurtic*) dengan rentang nilai 0,74 – 1,42. Nilai *kurtosis* yang diperoleh memperlihatkan bahwa semakin dalam nilai *kurtosis* yang dihasilkan semakin kecil yaitu pada kedalaman 4,9 m nilai *kurtosis*nya 0,737 dan pada kedalaman 1,1 m nilai *kurtosis*nya 1,417. Hasil tersebut mendekati dengan hasil yang diperoleh Putra dan Nugroho (2017) bahwa nilai *kurtosis* berubah sesuai dengan perubahan kedalaman, semakin dalam batimetri nilai *kurtosis* menunjukkan pola semakin mengecil.

KESIMPULAN

Sebaran sedimen dasar berdasarkan hasil analisis granulometri di perairan Pantai Gosong terdapat tiga jenis fraksi sedimen yaitu pasir, lanau, dan lempung dengan rata – rata persentase fraksi sedimen adalah 20%, 65,9% dan 14,1%. Sebaran sedimen yang mendominasi di lokasi ini adalah lanau dengan tipe sedimen lempung berlumpur (*silty clay*). Kondisi hidrooseanografi daerah penelitian bahwa tipe pasang surut di perairan Pantai Gosong adalah campuran condong ke harian ganda ($Formzhal = 0,79$) dengan kecepatan arus rata – rata 0,2 m/s. Hasil analisis ukuran butir dengan pendekatan statistik diperoleh nilai ukuran butir rata – rata 1,31 – 2,96 dengan klasifikasi pasir halus (*fine sand*) dan pasir sedang (*medium sand*). Untuk nilai sortasi terdapat tiga stasiun yang mempunyai klasifikasi terpilah sedang yaitu pada Stasiun 3, 6 dan 8, sedangkan pada stasiun lainnya didominasi pada klasifikasi terpilah buruk. Nilai *skewness* secara umum menunjukkan klasifikasi ukuran butir sedimen condong sangat halus (*very fine skewed*) dengan rentang nilai berkisar antara 0,63 – 2,04. Sedangkan nilai *kurtosis* diperoleh tiga klasifikasi ukuran butir sedimen yaitu tumpul (*platycurtic*), cukup tumpul (*mesokurtic*) dan runcing (*leptokurtic*). Nilai *kurtosis* yang diperoleh memperlihatkan bahwa semakin dalam nilai *kurtosis* yang dihasilkan semakin kecil yaitu pada kedalaman 4,9 m nilai *kurtosis*nya 0,737 dan pada kedalaman 1,1 m nilai *kurtosis*nya 1,417.

DAFTAR ACUAN

- Blott, S.J., Pye, K. (2001). Gradistat : A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237–1248.
- Darlan, Y., 1996. *Geomorfologi Wilayah Pesisir*. Aplikasi untuk penelitian wilayah pantai, Pusat Pengembangan Geologi Kelautan, Bandung, 96p.
- Djurdjani. 1998. *Konsep Pemetaan PUCPIC*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta
- Dyer, K.R. 1986. *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics*. John Wiley dan Sons Ltd, New York, 342p.
- Foth, H. D., 1994. *Fundamentals of Soil Science Eight Edition*. John Willey and Sons. New York.
- Folk Robert, L. 1974. *Petrology of Sedimentary Rock*. Hemphill Publishing Company Austin, Texas, USA, 179h.
- Folk Robert, L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rock*. Hemphill Publishing Company. Austin. 170p.
- Folk Robert, L., Ward, W.C. 1957. Brazos river bay: a study in the significance of grain size parameters. *Journal Sediment Petrol*, 27, 3-26.
- Friedman, G.M., and Sanders, J.E, 1978. *Principles of sedimentology*. John Wiley and Sons, New York, 792p.

- Gemilang, W.A., Wisna, U.J., Rahmawan, G.A., dan Dhiiauddin. (2018). Karakteristik Sebaran Sedimen Pantai Utara Jawa Studi Kasus: Kecamatan Brebes Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Nasional*, 13(2), 65-74.
- Huang, G. (2011). Dual Behavior of Suspended Sediment Concentration in a Regulated River. *World Journal of Mechanics*. 1(3), 115–121.
- Hubbard, J. A., and Pocock, Y. P. (1972). Sediment rejection by recent scleractinian corals: a key to palaeoenvironmental reconstruction. *Geologische Rundschau*, 61(2), 598-626.
- Ingmanson, D.E., Wallace, W.J., 1989. *Introduction to oceanography*. 4 th ed, Belmont, California, 54p.
- Irham, M., Adhla, S., Octavina, C. (2020). Analisis Kimia Sedimen di Sekitar Ekosistem Mangrove Desa Lambadeuk, Peukan Bada, Aceh Besar. *Depik*. 9(1), 1-7.
- Junaidi dan Wigati, R. (2011). Analisis Parameter Statistik Butiran Sedimen Dasar pada Sungai Alamiah (Studi Kasus Sungai Krasak Yogyakarta). *Wahana Teknik Sipil*, 16(2), 46-57.
- Kamarz, H.R, Satriadi, A., Marwoto, J. (2015). Analisis Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Binamu Kabupaten Jeneponto Sulawesi Selatan. *Journal of Oceanography*. 4(3):590-597.
- Lanuru, M., 2011. *Pengantar Oseanografi*. Bahan Ajar. Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan. Universitas Hasanuddin. Makassar.
- Mann, K.H. and Lazier, J.R.N. 2006. *Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the ocean*. Bedford Institute of Oceanography, Canada.
- Muhardi, Nurrahman, Y.A., Risiko, Muliadi, Rahayu, K., Susiati, H. (2021). Statistical Parameters Analysis of Sediment Grain Size from Raya River Bengkayang Regency, West Borneo. *Bulletin of the Marine Geology*, 36(2), 100-107.
- Nugroho, S.H., dan Basit, A. (2014). Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir di Teluk Weda, Maluku Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(1), 229-240.
- Nuraini I., dan Wiyanto, D.B. (2021). Karakteristik Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Kalianget Kabupaten Sumenep. *Juvenil*. 2(3), 243-254.
- Nybakken, J.W. 1992. *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologi*. PT. Gramedia Jakarta.
- Pamuji, A., Muskananfolo, M.R. dan A'in, C. Pengaruh Sedimentasi Terhadap Kelimpahan Makrozoobenthos di Muara Sungai Betahwalang Kabupaten Demak. *Jurnal Saintek Perikanan*, 10(2), 129-135.
- Pond Stephen and Pickard George, L., 1983. *Introductory to Dynamical Oceanography*. Pegamon Press Ltd, New York, 2nd ed., 326h.
- Purnawan, S., Setiawan, I., dan Warmantin. (2012). Studi sebaran sedimen berdasarkan ukuran butir di perairan Kuala Gigieng, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. *Depik*, 1(1), 31-36.
- Putra, P.S., dan Nugroho, S.H. (2017). Distribusi Sedimen Permukaan Dasar Laut Perairan Sumba, Nusa Tenggara Timur. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 2(3), 49-63.
- Randa A.M., Patandianan, E.A., Marisan, I. (2021). Sebaran Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Butir di Sepanjang Sungai Nuni Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat. *Jurnal Manajemen Riset dan Teknologi*. 3(1), 8-17.
- Rawi, H.S., 2010. *Pasang Surut*. Pusat Pendidikan Hidro-Oseanografi TNI-AL, Jakarta
- Richard, A D., 1992. *Depositional system an introduction to sedimentology and stratigraphy*, 2nd. Prastise Hall Inc. New Jersey. 604p.
- Rifardi, 2012. *Geologi Sedimen Modern*. Universitas Riau Press, Pekanbaru, 167h.
- Rifardi, 2008. *Tekstur Sedimen Sampling dan Analisis*. Universitas Riau Press, Pekanbaru, 99h.
- Setiawan, H., Subiandono, E. (2015). Konsentrasi Logam Berat pada Air dan Sedimen di Perairan Pesisir Provinsi Sulawesi Selatan. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*, 3(1), 67-79.
- Sivasamandy, R. dan Ramesh, R. (2014). Granulometric studies of the sediments from Kolakkudi Lake, Musiri Taulk, Trichirapalli District, Tamilnadu, India. *International Research Journal of Earth Sciences*, 2(11), 1-10.
- Stewart, H.B., 1958. *Sedimentary reflection on depositional environment, in San Mignellagoon*, Baju California, Mexico. AAPG Bull 42: 2567–2618.
- Surjono, S. S., Hendra, A.D., dan Sarju, W., 2010. *Analisis Sedimentologi*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Susiati, H., Ryanto, T.A., Suntoko H., Risiko, Muhardi, Zibar, Z. (2021). Study of bathymetry in determining Nuclear Power Plant Site in Gosong Beach Waters, West Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 944 (2021) 012051.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*. 30, 377-392.
- Wibisono, M.S., 2005. *Pengantar Ilmu Kelautan*. PT Gramedia Widiasarana, UI Press, Jakarta, 259h.
- Wolanski Eric and Elliott Michael, 2007. *Estuarine Ecohydrology*. Oxford, Elsevier Science, UK, 2 nd ed., 322h.

PEMODELAN GELOMBANG DAN ARUS PADA DESAIN GROIN DI PPI CISOLOK, SUKABUMI

WAVE AND CURRENT MODELING FOR GROYNE DESIGN AT CISOLOK FISHING PORT, SUKABUMI

Yessi Nirwana Kurniadi^{1*}, M. Rifki Permadi², Nineu Y. Geurhaneu¹, Deny Setiady¹

¹ Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Jl. PHH Mustofa No 23 Bandung 40124

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djujungan No. 236 Bandung 40174

*yessi@itenas.ac.id

Diterima : 04-11-2022 , Disetujui : 17-05-2023

ABSTRAK

Fasilitas pokok dermaga pendaratan ikan dan kolam pelabuhan di Pangkalan Pendaratan Ikan Cisolok tidak dapat menampung seluruh jumlah kapal ikan nelayan karena kondisi fasilitas yang ada sudah rusak dan terjadi sedimentasi di kolam pelabuhan. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh gelombang dan arus sejajar pantai di sekitar PPI Cisolok lalu merencanakan desain groin yang efektif agar dapat melindungi kolam pelabuhan dari arus sejajar pantai yang membawa sedimen. Simulasi hidrodinamika dan transformasi gelombang dilakukan dengan MIKE 21 Modul Flow Model Flexible Mesh dan Modul Spectral Wave. Pada alternatif 1 groin diperpanjang 85 m tegak lurus pantai dan alternatif 2 diperpanjang 90 m dengan posisi ke arah tenggara. Hasil analisis pada pemodelan transformasi gelombang menunjukkan bahwa desain groin alternatif 2 lebih efektif untuk melindungi kolam pelabuhan dari gelombang dan arus sejajar pantai dengan persentase reduksi di musim barat sebesar 46% dan di musim timur sebesar 43.5%.

Kata kunci: gelombang, groin, sedimentasi dan hidrodinamika

ABSTRACT

The basic facilities for fish landing berth and port basin at Fish Landing Port Cisolok cannot accommodate the entire number of fishing boats because the existing facilities are damaged and sedimentation occurs. The purpose of this study is to investigate the influence of waves and longshore currents on the coast around Cisolok Port and then to plan an effective groyne design in order to protect the pond basin from longshore sediment. Hydrodynamic wave transformation simulation were carried out using MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh and Spectral Wave Module. In the first alternative design, the groyne is extended by 85 m perpendicular to the beach. The second alternative design is extended 90 m to the southeast. The results of the analysis on wave transformation modeling show that the second alternative design is more effective in protecting the port basin from wave and longshore sediment percentage wave heights reduction of 46% on west monsoon and 43.5% at east monsoon.

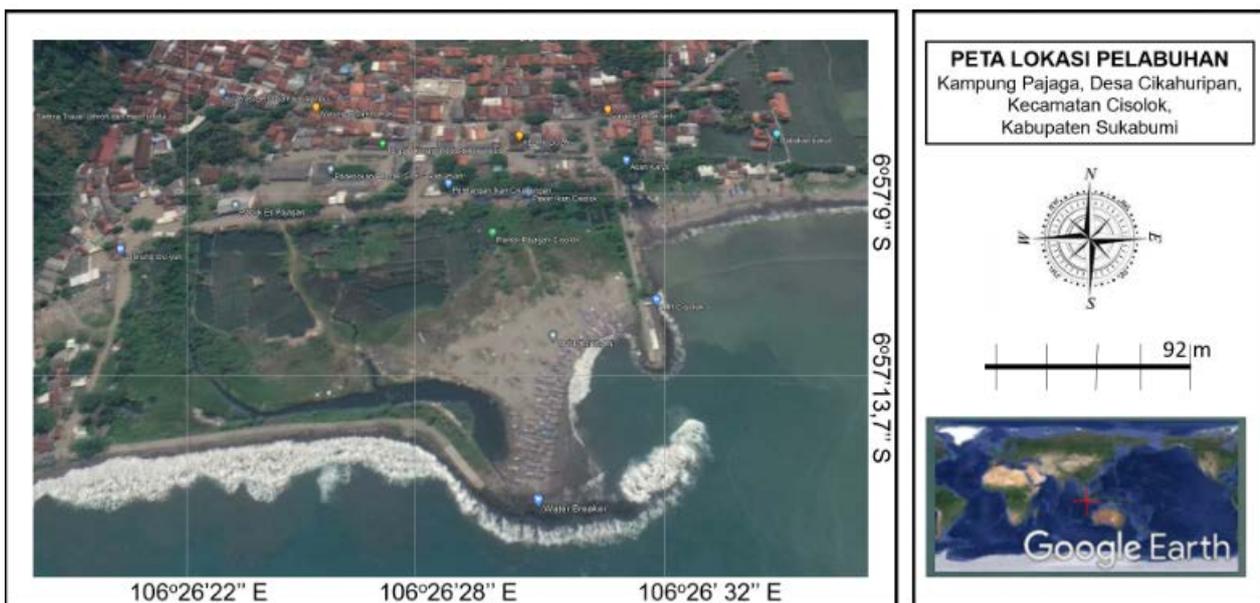
Keyword: wave, groyne, sedimentation, hydrodynamic model

PENDAHULUAN

PPI (Pangkalan Pendaratan Ikan) Cisolok berada di Desa Cikahuripan, Kec. Cisolok, Kab.Sukabumi, dipersiapkan untuk mengganti fungsi PPN (Pelabuhan Perikanan Nusantara) Pelabuhan Ratu sebagai tempat berlabuh bagi kapal-kapal berukuran kecil yaitu 30 GT ke bawah. PPI Cisolok ini berfungsi sebagai penunjang operasional PPN Pelabuhan Ratu dimana pada musim gelombang besar kapal-kapal nelayan yang tidak dapat tertampung di Pelabuhan Ratu akan ditampung di PPI Cisolok untuk menghindari gelombang besar. Berdasarkan studi pengembangan yang telah dilakukan di tahun 2002 pembangunan *breakwater* belum selesai dan masih perlu diperpanjang sampai kedalaman gelombang pecah. Disamping itu perlu dibuat groin untuk mencegah sedimentasi di kolam pelabuhan akibat arus sejajar pantai (Purwono, 2006). Struktur groin merupakan struktur

- Data klimatologi yang digunakan merupakan data tiap 3 jam yang diperoleh dari BMKG dan dianggap mewakili angin di teluk Pelabuhan Ratu.
- Data gelombang merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin (*wind wave*)
- Arah datang gelombang merupakan hasil analisis dari *waverose* dan *windrose*.
- Arus sejajar pantai diketahui dari hasil analisis model gelombang *spectral wave*
- Pergerakan sedimen diketahui dari pergerakan arus sejajar pantai dan sumber sedimen yang diperhitungkan hanya dari laut.

Pergerakan arus sejajar pantai yang membawa sedimen dimodelkan dengan model gelombang. Pemodelan hidrodinamika dan gelombang pernah dilakukan di teluk Pelabuhan Ratu dengan beberapa studi



Gambar 1. Peta Lokasi PPI Cisolok, Sukabumi. (Sumber : Google Earth, 2022)

pelindung pantai yang ditujukan menahan arus sejajar pantai dan transport sedimen sejajar pantai. Groin yang telah ada di PPI Cisolok saat ini masih belum mampu untuk menahan transport sedimen tersebut, sehingga laju sedimentasi di kolam pelabuhan masih tinggi. Kondisi fasilitas pokok dermaga pendaratan ikan dan kolam pelabuhan di PPI Cisolok tidak dapat menampung seluruh jumlah kapal ikan nelayan Cisolok, karena kondisi fasilitas yang ada sudah rusak dan tertimbun sedimen (Rosalia, et al., 2019). Tingginya laju sedimentasi di kolam Pelabuhan Cisolok menyebabkan area tersebut menjadi daratan (Gambar 1), hal ini memaksa kapal nelayan berlabuh di dekat mulut pelabuhan.

Pada penelitian ini akan mengkaji mengenai analisis gelombang guna mendapatkan desain groin yang tepat agar fasilitas PPI Cisolok dapat berfungsi dengan baik kembali. Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

yang berbeda seperti memodelkan transformasi gelombang dengan batimetri curam menggunakan model SWASH (Kurniadi & Windupranata, 2017) dan pemodelan arus akibat pasang surut (Nugraha & Surbakti, 2009). Proses akresi dan sedimentasi telah dipetakan untuk mengetahui karakteristik pantai di teluk Pelabuhan Ratu tersebut (Setiady & Sarmili, 2015). Alternatif desain groin akan ditentukan berdasarkan hasil analisis gelombang. Beberapa alternatif desain dan bentuk groin akan dibandingkan untuk mengetahui desain mana yang lebih efektif dalam mereduksi pengaruh arus sejajar pantai dari pengaruh gelombang.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode numerik pada model hidrodinamika *MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh* dan model gelombang menggunakan *Spectral Wave Model*. Hidrodinamika

dibangkitkan oleh pasang surut yang masuk ke dalam teluk Pelabuhan Ratu, perbedaan tinggi muka air menghasilkan arus yang bergerak dari muka air tinggi menuju rendah. Angin pun berperan penting dalam transfer energi sehingga gelombang yang datang dengan suatu sudut di pantai menghasilkan arus sejajar pantai yang mampu menggerakkan sedimen sepanjang pantai. *MIKE 21 Flow Model Flexible Mesh (Flow Model FM)* yaitu suatu sistem model berbasis pada suatu pendekatan *mesh* fleksibel yang dikembangkan untuk aplikasi di dalam oseanografi, rekayasa pantai dan lingkungan muara sungai. *Flow Model FM* terdiri atas beberapa modul salah satunya *hydrodynamic module (HD)*. Model hidrodinamik dalam HD module adalah model numerik umum untuk muka air dan aliran di teluk dan pantai (Wirawan *et al* 2019). *Mike 21 Spectral Wave (SW)* mencakup model gelombang angin *spectral* dimana model ini mensimulasikan transformasi gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Prediksi gelombang dan analisis dalam skala regional dan skala lokal serta perhitungan transportasi sedimen yang sebagian besar ditentukan oleh kondisi gelombang dan *wave-induced currents*. *Wave-induced currents* disebabkan oleh *gradient radiation stressed* yang terjadi pada *surf zone* (Darmawan dan Kurniadi, 2019). *MIKE 21 SW* digunakan untuk penilaian iklim gelombang di wilayah lepas pantai dan pesisir. Data yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu berupa data batimetri, pasang surut, dan angin dan diperoleh dari hasil penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), BMKG dan instansi lainnya. Hidrodinamika 2DH mensimulasikan perbedaan muka air dan arus dalam menghadapi berbagai fungsi gaya di danau, teluk, pantai dan laut (Agern, 2006). Persamaan hidrodinamika yang digunakan yaitu sebagai berikut:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x$$

$$+ \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x$$

$$+ \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0$$

Dimana $h(x,y,t)$ adalah kedalaman air [m], $d(x,y,t)$ adalah kedalaman air pada berbagai waktu [m], $\zeta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan [m], $p,q(x,y,t)$ adalah *flux density* dalam arah x dan y [$m^3/s/m$], $C(x,y)$ adalah tahanan *chezy* [$m^{1/2}/s$], $f(V)$ faktor gesekan angin, $V, V_x, V_y(x,y,t)$ kecepatan angin dalam arah x dan y [m/s], $\Omega(x,y)$ parameter

coriolis [s^{-1}], $Pa(x,y,t)$ tekanan atmosfer [$kg/m/s^2$] ρ_w berat jenis air [kg/m^3], τ_{xx} *Effective shear stress arah sumbu xx* [N/m^2], τ_{yy} adalah *Effective shear stress arah sumbu yy* [N/m^2] dan τ_{xy} adalah *Effective shear stress arah sumbu xy* [N/m^2]. Model transformasi gelombang menggunakan *MIKE 21 Spectral Waves* modul dimana gelombang angin didefinisikan sebagai spektrum densitas gelombang. Persamaan dispersi linear gelombang diberikan oleh persamaan

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \bar{k} \cdot \bar{U}$$

Dimana \bar{U} adalah vektor kecepatan arus, \bar{k} adalah vektor bilangan gelombang. Persamaan pengatur pada modul ini diturunkan dari persamaan konservasi untuk gelombang dan karakteristik propagasi kecepatan diberikan oleh persamaan *kinematic linear* dibawah ini

$$(C_x, C_y) = \frac{dx}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Pemodelan

Validasi pemodelan dilakukan dengan cara membandingkan data pasang surut pengamatan di teluk Pelabuhan Ratu dengan tinggi muka air hasil pemodelan hidrodinamika di titik koordinat pengamatan pasang surut. Parameter dan hasil validasi pemodelan hidrodinamika ini digunakan sebagai input pemodelan pada model gelombang

MIKE 21 Spectral Wave Module (MIKE 21 SW). Parameter validasi yang dilakukan di model hidrodinamika digunakan sebagai acuan bagi model gelombang sehingga validasi data gelombang tidak dilakukan. Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi validasi yaitu data batimetri, nilai kekasaran dasar Manning, dan nilai *eddy viscosity*. Batimetri di Teluk Pelabuhan Ratu sangat kompleks terdiri dari teluk, tanjung, pantai curam dan sebagian

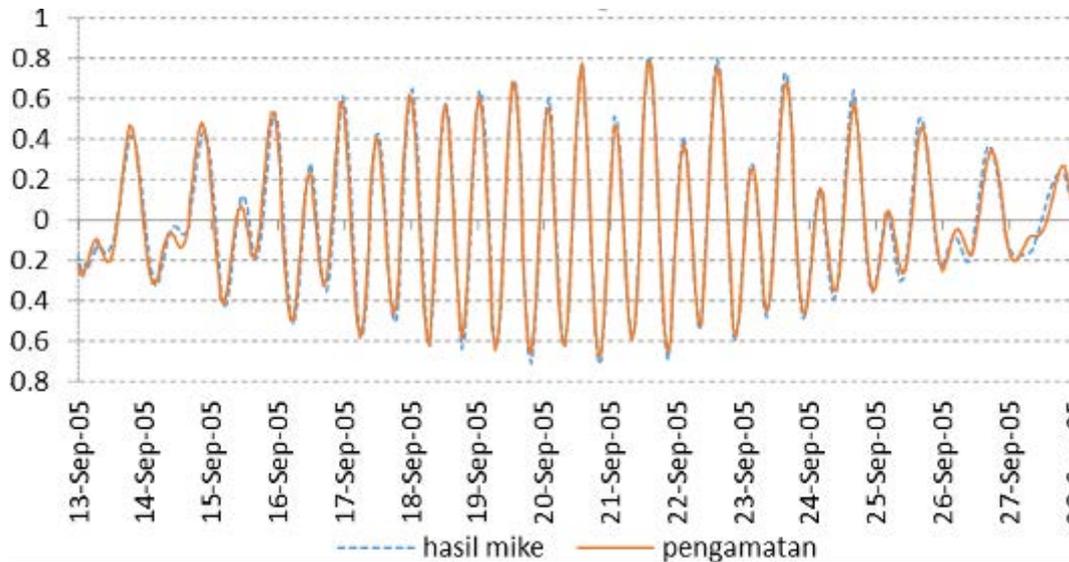
pantai landai. Morfologi pantai berupa singkapan-singkapan batuan dasar dari Formasi Jampang berupa batuan lava andesit tipe ini dicirikan oleh relief tinggi dan bertebing dengan ketinggian mencapai lebih dan 20 meter dari permukaan laut (Setiady D. , 2010). Relief curam juga ditemukan pada kontur batimetri Teluk Pelabuhan Ratu yang curam. Pada pemodelan dengan batimetri ekstrim ini

Analisis Gelombang

A. Tinggi Gelombang

Analisis gelombang di laut dalam berdasarkan data angin sebagai pembangkit gelombang. Berdasarkan hasil perhitungan *fetch* dapat digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang.

Hasil analisis tinggi gelombang menggunakan *fetch* dan *hindcasting* didapat nilai tinggi gelombang tertinggi pada musim timur yaitu dengan tinggi gelombang H_{m0}



Gambar 2. Validasi elevasi muka air

perlu banyak pendekatan agar hasil pemodelan mendekati keadaan sebenarnya (Kurniadi & Windupranata, 2017). Pada tahap pemodelan untuk validasi digunakan data batimetri skala besar yang mencakup batimetri teluk Pelabuhan Ratu. Proses validasi pemodelan ini dilakukan di bulan September sesuai dengan bulan pengamatan yang dilakukan selama 15 hari. Gambar 2 merupakan hasil validasi pasang surut pengukuran dan pengamatan dari hasil pemodelan hidrodinamika.

Pada Gambar 2 terlihat 2 grafik elevasi muka air. Grafik berwarna biru menunjukkan hasil simulasi dan grafik berwarna merah menunjukkan data pengamatan pasang surut di lapangan. Kedua grafik menunjukkan fase dan elevasi yang hampir sama walaupun pada beberapa *time-step* masih terdapat perbedaan. Namun nilai error pada kedua data sudah berhasil menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* dibawah 10% yaitu 5,5%.

Pemodelan Gelombang

Pada pemodelan *MIKE 21 SW* data yang digunakan adalah data angin dari arah barat dan arah timur dengan waktu satu bulan. Untuk pemodelan gelombang ini menggunakan input batimetri skala kecil yang meliputi area PPI Cisolak yang lebih detil. Hasil pemodelan hidrodinamika dimasukan sebagai parameter input *MIKE 21 SW*, selanjutnya parameter yang dihasilkan adalah tinggi gelombang dan periode gelombang.

Tabel 1. Urutan Kejadian Gelombang Yang Terbesar Pada Musim Timur (Bulan Juli)

Bulan	Tahun	$H_{m0} MAX$ m	$T_p MAX$ s	H_s m	T_s s
1	2	3	4	5	6
july	1997	2,536	4,820	2,109	4,364
	1999	1,874	4,270	1,512	3,893
	2002	1,397	3,797	1,292	3,664
	2003	1,344	3,673	1,158	3,469
	1994	1,344	3,623	1,144	3,467
	1998	1,286	3,623	1,129	3,443
	2001	1,100	3,416	0,973	3,276
	2000	1,073	3,416	0,970	3,267
	1996	1,073	3,389	0,944	3,225
	1995	1,021	3,306	0,940	3,213

Tabel 2. Urutan Kejadian Gelombang Yang Terbesar Pada Musim Barat (Bulan Januari)

Bulan	Tahun	$H_{m0} MAX$ m	$T_p MAX$ s	H_s m	T_s s
1	2	3	4	5	6
januari	1997	3,974	5,768	2,672	4,921
	1995	2,196	4,550	1,541	3,948
	2000	1,812	4,213	1,392	3,669
	1999	1,812	4,213	1,392	3,669
	1998	1,344	3,673	1,105	3,413
	2002	1,286	3,623	1,013	3,339
	2003	1,125	3,481	1,013	3,231
	1994	1,125	3,481	1,013	3,231
	1996	0,901	3,186	0,901	3,186
	2001	0,705	2,889	0,705	2,889

2,536 m, dan $H_{signifikan}$ 2,108 m. Untuk musim barat tinggi gelombang tertinggi di tahun 1997 dengan tinggi gelombang H_{mo} 3,974 m dan $H_{signifikan}$ 2,671 m.

B. Periode Ulang Gelombang

Bangunan Pantai harus direncanakan untuk mampu menahan gaya-gaya yang bekerja sehingga diperlukan tinggi dan periode gelombang rencana yang dapat mempresentasikan *spectrum* gelombang selama kejadian ekstrem. Pada periode ulang gelombang ini menggunakan metode *fisher type* 1. Bangunan pengaman pantai pada PPI Cisolok ini direncanakan dengan umur 25 tahun.

1. Desain Groin Alternatif 1

Alternatif 1 groin diperpanjang 85 m tegak lurus dengan struktur groin sebelumnya selain itu merehabilitasi *breakwater* sampai 80 m.

2. Desain Groin Alternatif 2

Alternatif 2 groin diperpanjang 90 m, dengan posisi 70 m ke arah tenggara dan 20 m tegak lurus dengan garis pantai.

Pemodelan Gelombang MIKE 21 SW

Pemodelan gelombang dilakukan pada kondisi *existing* dan hasil tinggi gelombang diamati pada 3 titik

Tabel 3. Tinggi gelombang dengan periode tertentu di musim timur

Periode Ulang Tahun	Yr Tahun	Hsr m	σ_{nr}	σ_r	Hs - 1,28 σ_r m	Hs + 1,28 σ_r m
1	2	3	4	5	6	7
2	0,367	1,167	0,337	0,122	1,011	1,323
5	1,5	1,492	0,571	0,206	1,228	1,756
10	2,25	1,707	0,78	0,282	1,346	2,068
25	3,199	1,979	1,062	0,384	1,487	2,471
50	3,902	2,181	1,277	0,462	1,59	2,772
100	4,6	2,381	1,492	0,539	1,69	3,071

Tabel 4. Tinggi gelombang dengan periode tertentu di musim barat

Periode Ulang Tahun	Yr Tahun	Hsr m	σ_{nr}	σ_r	Hs - 1,28 σ_r m	Hs + 1,28 σ_r m
1	2	3	4	5	6	7
2	0,367	1,199	0,337	0,186	0,96	1,437
5	1,5	1,639	0,571	0,315	1,289	2,096
10	2,25	2,02	0,78	0,431	1,468	2,572
25	3,199	2,433	1,062	0,587	1,682	3,84
50	3,902	2,74	1,277	0,705	1,837	3,643
100	4,6	3,044	1,492	0,824	1,989	4,099

Tabel 5. Parameter pemodelan MIKE 21 *Flow Model Flexible Mesh* dan Modul *Spectral Waves*

Paramater yang diterapkan dalam simulasi		SW Module
FM Module		<i>Mesh and Bathimetry</i>
<i>Mesh and Bathimetry</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>	Hasil interpolasi <i>mesh</i>
<i>Simulation period</i>	<i>no of time step</i> = 359	<i>Water level conditions</i>
	<i>Time step interval</i> = 3600 s	Hasil FM Module
	<i>simulation start date</i> = 13/9/2005	<i>Boundary Condition</i>
	<i>simulation end date</i> = 27/9/2005	Musim Barat
<i>Flood and dry</i>	<i>drying depth</i> = 0,005 m	<i>Significant Wave height</i> = 2,433 m
	<i>flooding depth</i> = 0,05 m	<i>Peak Wave Periode</i> = 4,92 s
	<i>wetting depth</i> = 0,1 m	<i>Mean Wave direction</i> = 270 deg
<i>Bed Resistance</i>	<i>manning</i> = 32 m ^{1/3}	<i>Directional Spreading index</i> = 5
<i>Boundary Condition</i>	Hasil Prediksi tiap <i>boundary</i>	Musim Timur
		<i>Significant Wave height</i> = 1,979 m
		<i>Peak Wave Periode</i> = 4,363 s
		<i>Mean Wave direction</i> = 90 deg
		<i>Directional Spreading index</i> = 5

Parameter Pemodelan Gelombang

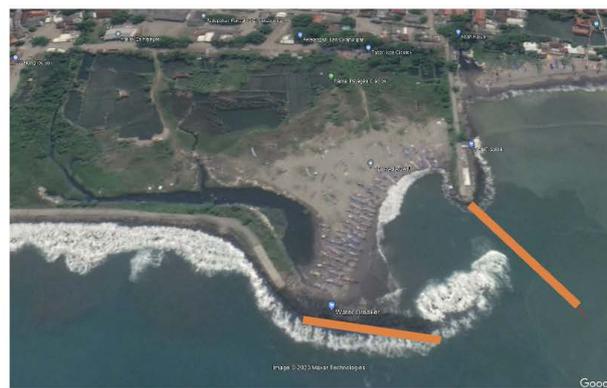
Parameter pemodelan yang digunakan meliputi perioda simulasi, parameter *flood and dry*, *bed resistance*, kondisi tinggi muka air hasil pemodelan hidrodinamika dan syarat batas dapat dilihat pada Tabel 5.

Parameter di atas nantinya akan digunakan pada pemodelan desain dengan beberapa alternatif, yaitu desain alternatif 1 dan desain alternatif 2 pada gambar 3.

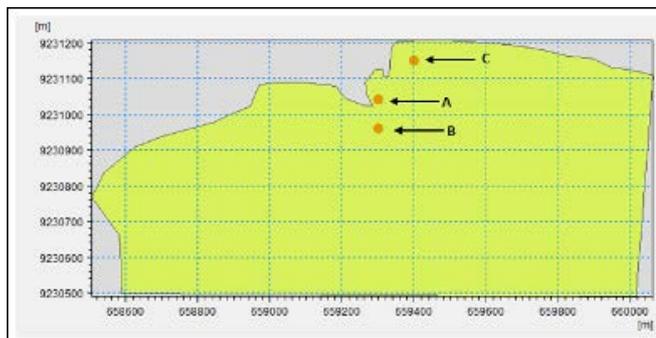
yang berbeda yaitu di titik mulut pelabuhan (A), di luar Pelabuhan tepatnya di alur pelayaran (B), dan sebelah timur pelabuhan (C). Pemodelan transformasi gelombang *existing* musim timur dan musim barat, dilihat pada saat kondisi pasang (a), kondisi menjelang surut (b), pada saat surut (c), dan pada saat kondisi menjelang pasang (d) seperti Gambar 5 dan Gambar 6. Pemodelan MIKE 21 SW dilakukan pada 3 titik yaitu A dengan koordinat (659300, 9231040), B (659300, 9230960), dan C (659400, 9231150) dapat dilihat pada Gambar 4, yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan tinggi gelombang

pada masing masing titik, hal tersebut dapat digunakan untuk memilih desain groin yang efektif.

tinggi gelombang sebesar 1,026 m sedangkan pada titik C (di pantai sebelah timur pelabuhan) memiliki tinggi



Gambar 3. Desain Alternatif Groin (Alternatif 1 -kiri dan Alternatif 2- kanan)

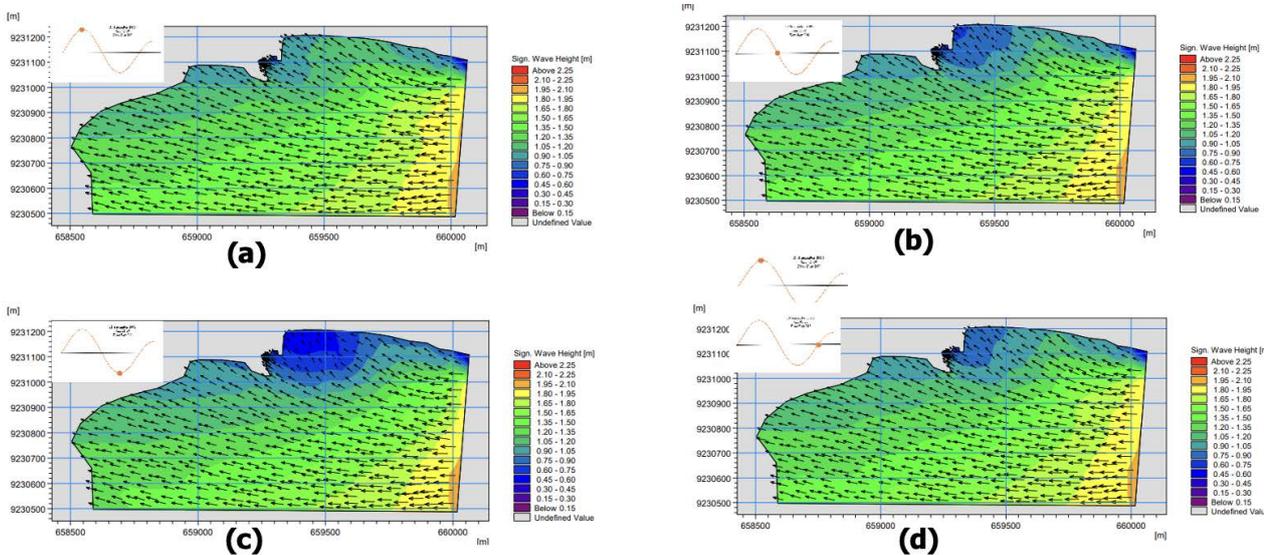


Gambar 4. Titik Lokasi Kondisi Existing (sumber: MIKE 21 SW)

gelombang sebesar 0,543 m. Berikut hasil pemodelan perencanaan dengan menggunakan alternatif 1 dan 2:

Pemodelan Gelombang Alternatif 1

Pemodelan transformasi gelombang alternatif 1 musim timur dan musim barat, dilihat pada saat kondisi pasang (a), kondisi menjelang surut (b), pada saat surut (c), dan pada saat kondisi menjelang pasang (d) seperti Gambar 8 dan Gambar 9. Pemodelan MIKE 21 SW dilakukan pada 3 titik yaitu A (659300, 9231040), B (659300, 9230960), dan C (659400, 9231150) dapat

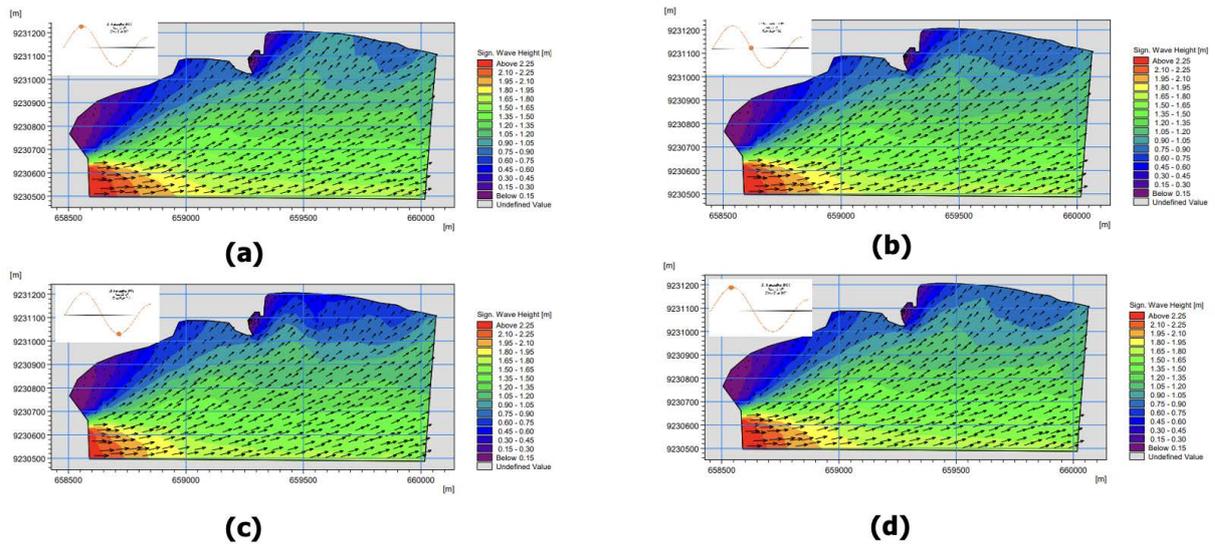


Gambar 5. Hasil Pemodelan Existing Musim Timur

Hasil transformasi gelombang pemodelan kondisi existing musim timur pada titik A (mulut pelabuhan) diperoleh nilai tinggi gelombang sebesar 0,962 m pada titik B (di luar pelabuhan) memiliki tinggi gelombang sebesar 1,112 m sedangkan pada titik C (di pantai sebelah timur pelabuhan) memiliki tinggi gelombang sebesar 0,772 m. Sedangkan hasil output transformasi gelombang pemodelan kondisi existing musim barat pada titik A (mulut pelabuhan) diperoleh nilai tinggi gelombang sebesar 0,510 m pada titik B (di luar pelabuhan) memiliki

dilihat pada Gambar 7.

Hasil output transformasi gelombang pemodelan kondisi alternatif 1 musim timur pada titik A diperoleh nilai tinggi gelombang sebesar 0,481 m pada titik B memiliki tinggi gelombang sebesar 1,076 m sedangkan pada titik C memiliki tinggi gelombang sebesar 0,773 m. Sedangkan hasil output transformasi gelombang pemodelan kondisi alternatif 1 musim barat pada titik A diperoleh nilai tinggi gelombang sebesar 0,218 m pada titik B memiliki tinggi gelombang sebesar 0,988 m

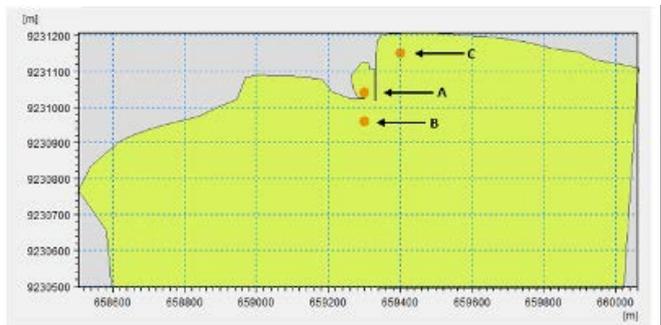


Gambar 6. Hasil Pemodelan Existing Musim Barat

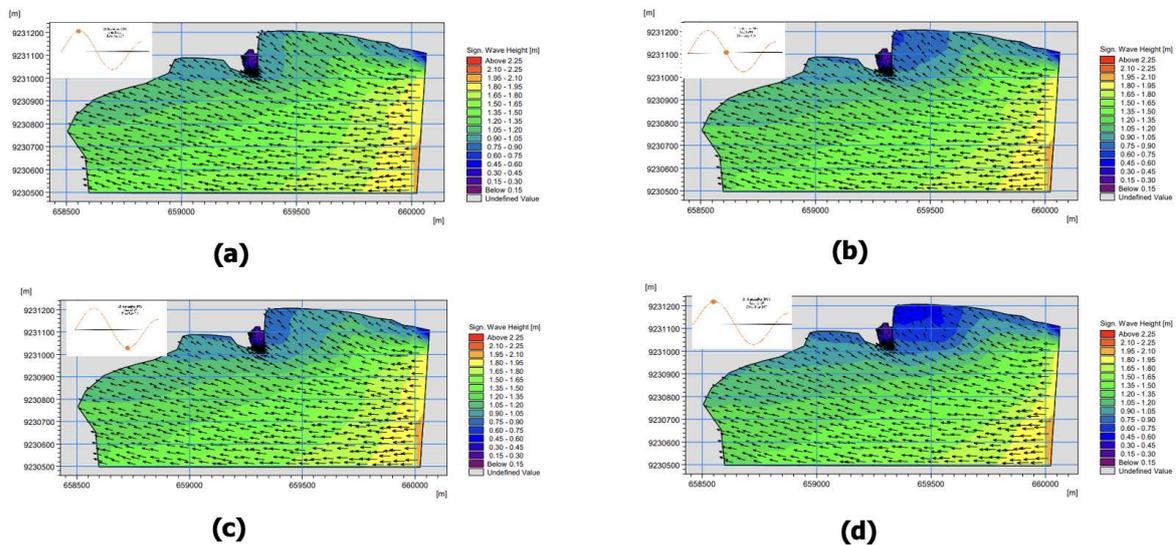
sedangkan pada titik C memiliki tinggi gelombang sebesar 0,412 m.

Pemodelan Gelombang Alternatif 2

Pemodelan transformasi gelombang alternatif 2 musim timur dan musim barat, dilihat pada saat kondisi pasang (a), kondisi menjelang surut (b), pada saat surut (c), dan pada saat kondisi menjelang pasang (d) seperti Gambar 11 dan Gambar 12. Pemodelan MIKE 21 SW dilakukan pada 3 titik koordinat yang sama yaitu A



Gambar 7. Titik Lokasi Kondisi Alternatif 1



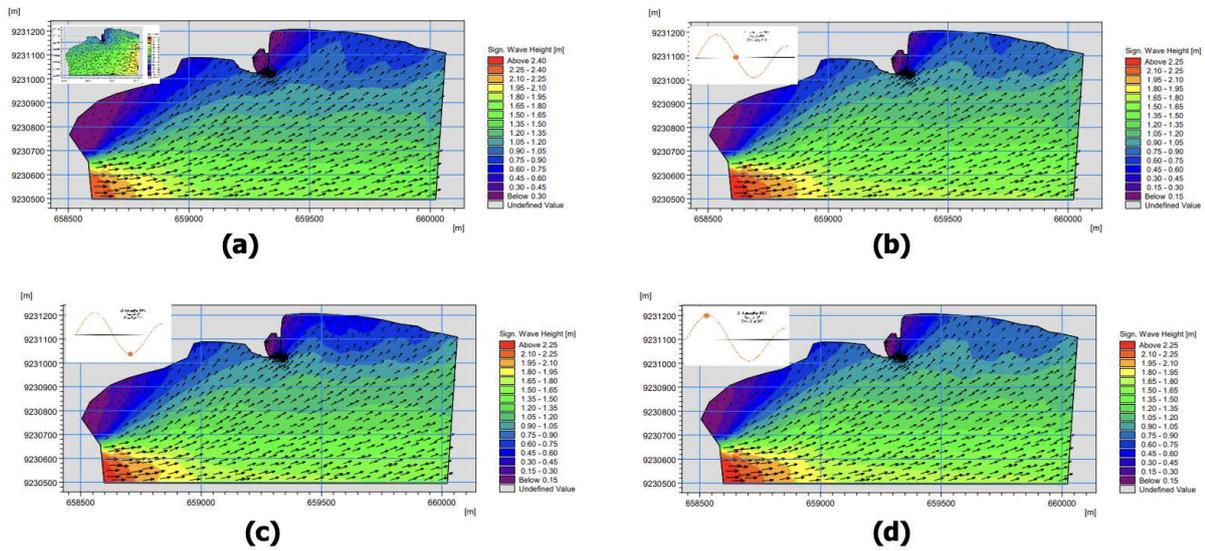
Gambar 8. Hasil Pemodelan Alternatif 1 Musim Timur

(659300, 9231040), B (659300, 9230960), dan C (659400, 9231150) dapat dilihat pada Gambar 10. Pada Gambar 11 dan 12 tersebut dapat terlihat perbedaan pola gelombang pada kondisi-kondisi yang ditinjau.

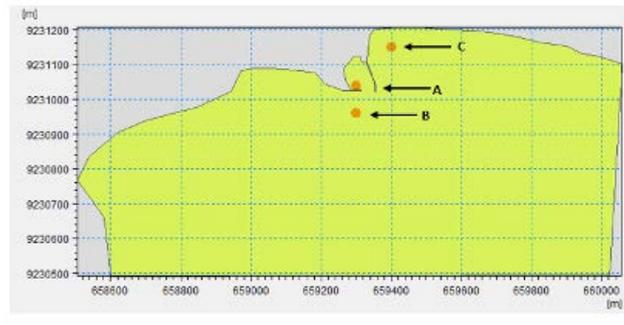
Hasil pemodelan gelombang menunjukkan terjadi reduksi tinggi gelombang yang diakibatkan oleh struktur groin di kedua alternatif desain. Pada Gambar 12 terdapat perbedaan tinggi gelombang per musim dan persentase reduksinya.

Tinggi gelombang eksisting di musim barat adalah 0.51 m dan di musim timur sebesar 0.962 m. Setelah dilakukan pemodelan gelombang maka terlihat bahwa desain alternatif 2 mempunyai persentase reduksi gelombang yang lebih tinggi dibanding desain alternatif 1. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memperpanjang groin ke arah tenggara sepanjang 90 m dan merehabilitasi breakwater dapat mengurangi tinggi gelombang yang terjadi di kolam Pelabuhan. Berdasarkan arah arus sejajar

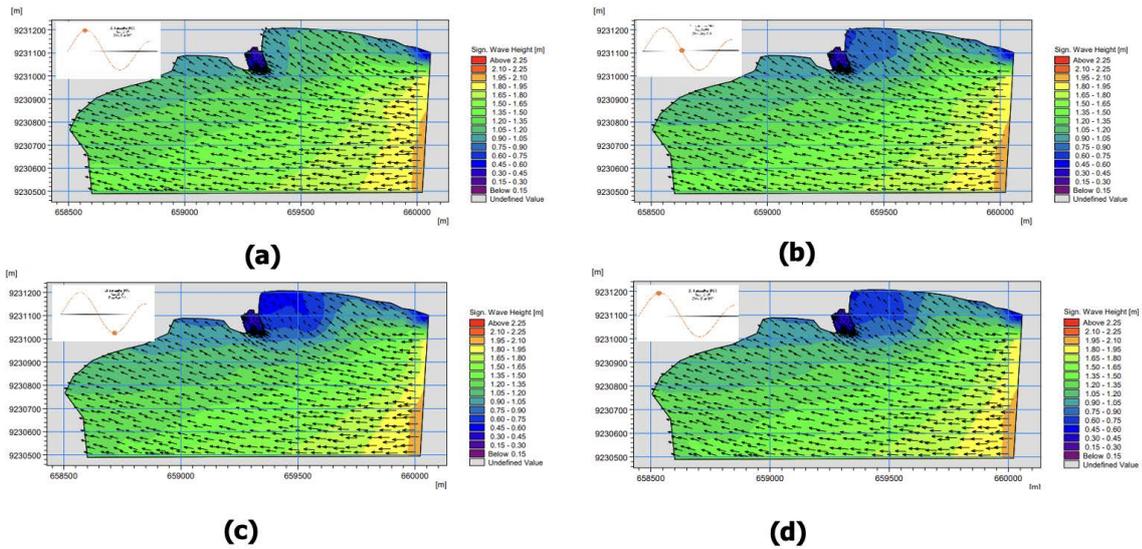
pantai yang dibentuk oleh gelombang terlihat bahwa groin yang diperpanjang ini dapat menahan sedimen dari arah timur.



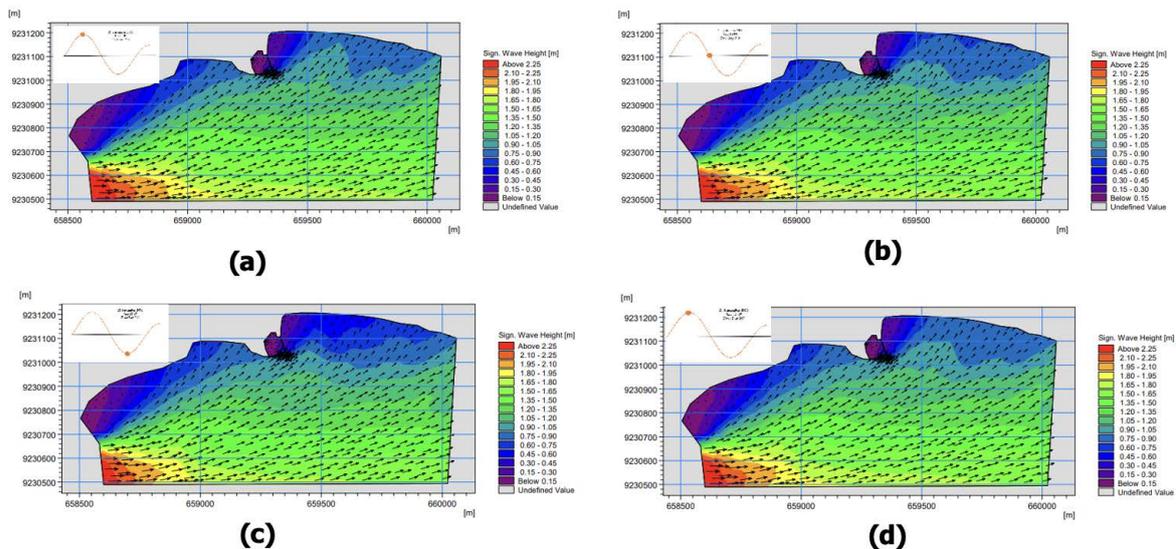
Gambar 9. Hasil Pemodelan Alternatif 1 Musim Barat



Gambar 10. Titik Lokasi Kondisi Alternatif 2



Gambar 11. Hasil Pemodelan Alternatif 2 Musim Timur



Gambar 12. Hasil Pemodelan Alternatif 2 Musim Barat (sumber: MIKE 21 SW)

Tabel 6. Perbedaan tinggi gelombang dan persentase reduksi tinggi gelombang pada kedua alternatif

Tinggi Gelombang pada Desain Alternatif 1 (m)			Persentase Reduksi Gelombang (%)	
Musim	Lokasi Tinjauan			
	A	B	C	
Musim Barat	0.218	0.988	0.412	29.2
Musim Timur	0.481	1.076	0.773	48.1

Tinggi Gelombang pada Desain Alternatif 2 (m)			Persentase Reduksi Gelombang (%)	
Musim	Lokasi Tinjauan			
	A	B	C	
Musim Barat	0.05	1.025	0.317	46
Musim Timur	0.527	1.123	0.783	43.5

KESIMPULAN

- Validasi pemodelan dapat digunakan karena hasil simulasi yang menunjukkan bahwa pasang surut pengamatan dan simulasi hampir sama, namun pada beberapa *time-step* masih terdapat perbedaan. Kalibrasi pada pemodelan ini menggunakan RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai manning yang digunakan $32 \text{ m}^{1/3}$ yang memiliki nilai RMSE perbedaan elevasi muka air sebesar 5,5%.
- Kondisi groin eksisting tidak dapat menahan tinggi gelombang terutama pada musim timur dimana tinggi gelombang yang terjadi di mulut Pelabuhan sebesar 0.962 m. Arus sejajar pantai yang terjadi akibat gelombang yang datang dengan sudut datang tertentu membawa sedimen sejajar pantai masuk ke dalam Pelabuhan.
- Pada dua alternatif yang telah dilakukan pemodelan pada *MIKE 21 SW*, alternatif 2 disarankan untuk digunakan, Setelah groin diperpanjang seperti dialternatif 2 tinggi gelombang di area kolam pelabuhan menurun, sehingga groin alternatif 2 dapat menahan laju sedimen yang terjadi ke dalam kolam pelabuhan.

SARAN

Penelitian ini belum mengkaji transport sedimen secara keseluruhan, perlu dilakukan kajian mengenai pengaruh Sungai Cisolak terhadap laju sedimentasi di kolam Pelabuhan PPI Cisolak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Geologi dan Pengembangan Geologi Kelautan (PPPGL) yang telah memberikan kerjasama yang baik dan memberikan bantuan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- Kurniadi, Y. N., & Windupranata, W. (2017). Transformasi Gelombang Pada Batimetri Ekstrim dengan Model Numerik Swash. Studi Kasus Teluk Pelabuhan Ratu, Sukabumi. *Jurnal Reka Racana*.
- Nugraha, R. B., & Surbakti, H. (2009). Simulasi Pola Arus Dua Dimensi di Perairan Teluk Pelabuhan Ratu pada Bulan September 2004. *Jurnal Kelautan Nasional*, 48-55.
- Purwono, N. A. (2006). Kajian Transformasi Gelombang Studi Kasus PPI Cisolak dengan Model CG wave. *Media Komunikasi Ilmiah di Bidang Teknik*.
- Rosalia, A. A., Pane, A. B., Solihin, L., Hutapea, Y. R., Putri, A. S., & Tirtana, D. (2019). Strategi Pengembangan Pangkalan Pendaratan Ikan Cisolak, Kabupaten Sukabumi: Pendekatan Analisis SWOT. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*.
- Setiady, D. (2010). Hubungan Kumpulan Mineral Berat pada Sedimen Pantai dan Lepas Pantai dengan Batuan Asal Darat di Perairan Teluk Pelabuhan Ratu, Jawa Barat. *Jurnal Geologi Indonesia*.

Setiady, D., & Sarmili, L. (2015). Proses Akresi dan Abrasi Berdasarkan Pemetaan Karakteristik Pantai dan Data Gelombang di Teluk Pelabuhan Ratu

Ciletuh, Kabupaten Sukabumi Jawa Barat. *Jurnal Geologi Kelautan*.

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

Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Jakarta, 9 Juli 2018



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