

Pola Arus dan Gelombang Air Laut di Sekitar Perairan Pulau Abang Besar, Kecamatan Galang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau

Irfan Hanifa^{1*}, Lilik Setyaningsih² dan Aunurrahman³

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman

²Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman

Jl. Dr. Soeparno, Karangwangkal, Karang Bawang, Grendeng, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah 53122, Indonesia

³Program Doktor Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

Email : irfan.hanifa@unsoed.ac.id

Abstrak

Pulau Abang Besar dikenal memiliki ekosistem laut yang kaya. Arus dan gelombang laut memiliki pengaruh yang besar terhadap ekosistem laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus dan gelombang air laut di sekitar Pulau Abang Besar. Lokasi penelitian berada di perairan Pulau Abang Besar, Kecamatan Galang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Data yang digunakan dalam studi ini terdiri atas data batimetri, angin, gelombang, pasang surut dan arus. Sumber data diperoleh dari beberapa data sekunder (CMEMS, OGIMET, BIG dan Dishidros TNI-AL). Data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut prediksi di Pulau Abang Besar yaitu pada koordinat 0°35'15" LU dan 104°13'11" BT. Metode yang digunakan dalam menganalisis pola arus dan gelombang menggunakan software DHI MIKE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola arus laut di wilayah studi cenderung bergerak dua arah yakni ke arah Tenggara dan Barat Laut. Saat musim utara, gelombang datang dari arah utara dan timur laut menuju selatan dan barat daya, sehingga pesisir sisi timur Pulau Abang Besar rentan terjadi gelombang tinggi saat musim utara. Saat musim selatan, gelombang datang dari arah selatan dan tenggara dengan tinggi gelombang maksimum disekitar perairan Pulau Abang Besar. Temuan ini penting untuk pengelolaan sumber daya kelautan dan perikanan di daerah pesisir.

Kata kunci: Pulau Abang Besar, Arus Laut, Gelombang Laut, Kota Batam

Abstract

Current and Wave Patterns of Sea Water Around the Waters of Abang Besar Island, Galang District, Batam City, Kepulauan Riau Province

Abang Besar Island is known for its rich marine ecosystem. Ocean currents and waves have a great influence on marine ecosystems. This study aims to analyze the pattern of currents and waves around Abang Besar Island. The research location is in the waters of Abang Besar Island, Galang District, Batam City, Riau Islands Province. The data used in this study consisted of bathymetry, wind, wave, tide and current data. Data sources were obtained from several secondary data (CMEMS, OGIMET, BIG and Dishidros TNI-AL). The tidal data used is the predicted tidal data on Abang Besar Island at coordinates 0°35'15" LU and 104°13'11" East. The method used in analyzing current and wave patterns uses DHI MIKE software. The results showed that ocean current patterns in the study area tend to move in two directions, namely to the Southeast and Northwest. During the north season, waves come from the north and northeast towards the south and southwest, so that the east side of Abang Besar Island is prone to high waves during the north season. During the southern season, waves come from the south and southeast with maximum wave heights around the waters of Pulau Abang Besar. These findings are important for the management of marine and fisheries resources in coastal areas.

Keywords: Abang Besar Island, Ocean Currents, Ocean Waves, Batam City

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang terdiri dari berbagai pulau dengan jumlah lebih dari 17.000 pulau membentuk lebih dari 80.000 kilometer garis pantai dengan luas lautan NKRI 6,4 juta km² (Hasanah, 2020). Perairan laut merupakan bagian integral dari ekosistem global yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia dan lingkungan. Laut merupakan habitat bagi beragam organisme seperti nekton, plankton, terumbu karang dan padang lamun dimana setiap organisme memiliki peranan masing-masing. Al Idrus *et al.*, (2023) dalam Wasniatun (2024) menyatakan lamun dan mangrove sebagai ekosistem pesisir mampu sebagai bioindikator kualitas perairan dan pencemaran lingkungan. Puspitasari *et al.* (2016) menyatakan bahwa

ekosistem terumbu karang mampu menunjang kegiatan industri pariwisata bahari di Indonesia, menyediakan lapangan pekerjaan serta lapangan usaha yang signifikan. Ekosistem terumbu karang juga sangat terkait dengan industri pariwisata dan perputaran uang, terutama di pulau-pulau kecil (Kurniawan *et al.*, 2019). Selain itu, laut memiliki peranan penting dalam siklus karbon. Menurut Rahadiarta *et al.*, (2019) menyatakan bahwa sekitar 93% CO₂ di bumi disimpan dalam lautan. Arus dan gelombang laut merupakan dua fenomena fisik utama yang mempengaruhi kondisi lingkungan, distribusi organisme, dan aktivitas ekonomi di wilayah pesisir.

Pasang surut (pasut) adalah proses naik turunnya muka laut yang hampir teratur, dibangkitkan terutama oleh gaya tarik bulan dan matahari. Karena posisi bulan dan matahari terhadap bumi selalu berubah secara hampir teratur, maka besarnya kisaran pasut juga berubah mengikuti perubahan posisi-posisi tersebut (hukum kepler). Sutirto & Trisnoyuwono (2014) menyatakan bahwa pasang surut merupakan fenomena alam mengenai permukaan perairan seperti lautan, yang berubah-ubah secara periode tertentu dan ketinggiannya sesuai dengan perubahan posisi bulan dan matahari terhadap bumi menurut fungsi waktu. Arus laut, yang merupakan aliran air yang bergerak secara horizontal, dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti angin, perbedaan suhu, salinitas, serta posisi geografis. Sementara itu, gelombang laut, yang dihasilkan oleh angin, memainkan peranan vital dalam proses sedimentasi dan erosi pantai. Sedimentasi dan erosi pantai memiliki dampak yang signifikan terhadap ekosistem, ekonomi, dan masyarakat di daerah pesisir. Sedimen yang terakumulasi dapat mengubur habitat alami, seperti terumbu karang dan lahan basah, yang merupakan tempat tinggal bagi berbagai spesies ikan dan organisme laut. Erosi pantai dapat menghilangkan habitat penting, seperti pantai berpasir dan lahan basah, yang berfungsi sebagai tempat tinggal bagi banyak spesies. He & Wang (2018) menyatakan bahwa sedimentasi dan erosi dapat menyebabkan perubahan terhadap ketersediaan sumber daya seperti ikan dan tanaman, penurunan kapasitas ekosistem dalam menyerap polusi dan mengurangi dampak bencana serta hilangnya keindahan alam dan tempat rekreasi, yang berdampak pada pariwisata. Sedimentasi dan erosi tidak hanya mempengaruhi ekosistem secara lokal tetapi juga memiliki implikasi yang lebih luas untuk kesehatan lingkungan dan kesejahteraan manusia.

Pulau Abang Besar, yang terletak di Kecamatan Galang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Pulau Abang Besar memiliki potensi sumberdaya laut yang cukup besar dan dapat dikembangkan bagi kepentingan perikanan dan pariwisata. Syaiful *et al.*, (2023) menyatakan bahwa Pulau Abang merupakan tempat wisata laut yang dikembangkan oleh pemerintah kota Batam dengan mengandalkan keindahan pantai serta terumbu karang dan berbagai jenis ikan hias. Kurniawati *et al.*, (2011) menyatakan bahwa secara keseluruhan kondisi terumbu karang di perairan Kelurahan Pulau Abang dalam keadaan bagus dengan rata-rata persentase hard coral 67,03%. Syaiful *et al.*, (2021) juga menyatakan bahwa perairan di sekitar Pulau Abang sesuai untuk kegiatan wisata *snorkeling*. Berdasarkan hal tersebut, maka Pulau Abang Besar memiliki keunikan geografi dan ekologi yang menjadikannya lokasi yang menarik untuk studi pola arus dan gelombang laut. Letaknya yang strategis di Selat Malaka, salah satu jalur pelayaran tersibuk di dunia, membuat pulau ini sangat penting dalam konteks maritim. Irawan (2016) menyatakan bahwa masih kurangnya informasi-informasi terkait tentang pasang surut dan arus laut di Pulau Batam. Sedikitnya informasi tentang pasang surut yang ada menyulitkan dalam pengembangan dan pembangunan Pulau Batam yang berkelanjutan dalam kegiatan transportasi laut, kegiatan di pelabuhan, dan juga pembangunan di daerah pesisir pantai. Penelitian tentang pola arus dan gelombang di sekitar perairan Pulau Batam tidak banyak dilakukan khususnya di perairan sekitar Pulau Abang Besar.

Pola arus dan gelombang air laut di suatu wilayah juga dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti perubahan iklim, angin, arus pasang surut, serta bentuk dan kedalaman dasar laut. Perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan pola angin dimana hal tersebut dapat mempengaruhi pembentukan gelombang (Pryor & Barthelmie, 2010). Perubahan iklim dapat menyebabkan peningkatan frekuensi dan intensitas gelombang, serta perubahan dalam pola arus. Dampak perubahan iklim pada pola gelombang dan arus memiliki konsekuensi yang signifikan bagi ekosistem pesisir, infrastruktur, dan masyarakat yang bergantung pada laut. Berdasarkan hal tersebut, maka pemahaman mengenai pola ini sangat penting untuk pengelolaan sumber daya kelautan dan mitigasi dampak perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola arus dan gelombang air laut di sekitar Pulau Abang Besar, dengan fokus pada faktor-faktor yang memengaruhi dinamika perairan. Memahami pola arus dan gelombang di perairan dinilai sangat penting terutama dalam menghadapi tantangan perubahan iklim yang dapat mengubah dinamika laut. Perubahan pola arus dan gelombang dapat berdampak signifikan pada kualitas air, habitat laut, dan kehidupan masyarakat pesisir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan

kontribusi dalam pemahaman ilmiah mengenai dinamika perairan di wilayah tersebut, serta menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan yang berkelanjutan untuk pengelolaan lingkungan laut. Selain itu, informasi mengenai pola arus dan gelombang juga dapat digunakan untuk mendukung kegiatan ekonomi lokal, seperti perikanan dan pariwisata, dengan cara yang lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Lokasi penelitian berada di perairan sekitar Pulau Abang Besar, Galang, Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Data yang digunakan dalam studi ini terdiri dari batimetri, angin, gelombang, pasang surut dan arus. Sumber data tersebut terdiri dari beberapa data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai sumber seperti CMEMS (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service*), OGIMET, Badan Informasi Geospasial (BIG) dan DISHIDROS TNI-AL. Data bathimetri diperoleh dari hasil digitasi peta laut dari Dishidros TNI-AL di perairan sekitar Pulau Abang Besar. Data batimetri berupa format XYZ, yaitu XY posisi dan Z kedalaman, dan data garis pantai dalam format XY (posisi) yang kemudian disesuaikan dengan format data MIKE 21. Data angin berupa data kecepatan dan arah tiupan angin, diakses pada portal OGIMET dan bersumber dari Pengukuran Bandara Hang Nadim Batam (WMO Index : 96087) dengan koordinat 1°7'8.75" LU dan 104°6'48.89" BT. Data tinggi dan arah datang gelombang diperoleh dari *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS) di koordinat 0°35'15" LU dan 104°13'11" BT. *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* menawarkan akses kepada data oseanografi secara *online*. Sumber data arus non pasang surut di wilayah Indonesia, yang memiliki dimensi kedalaman, dapat diambil dari pemodelan global *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (Armansyah *et al.*, 2016). Data pasang surut yang digunakan adalah data pasang surut prediksi di Pulau Abang Besar yaitu pada koordinat 0°35'15" LU dan 104°13'11" BT yang diperoleh dari Portal data prediksi Pasang Surut Badan Informasi Geospasial pada bulan Januari tahun 2020. Data pasang surut berupa lokasi, waktu dan tinggi muka air diperoleh dari data prediksi pasang surut global yang tersedia di MIKE 21 *Toolbox* (.21t) dengan periode waktu selama satu tahun yaitu dari tanggal 1 Januari 2020 sampai dengan 31 Desember 2020, dengan interval waktu setiap satu jam.

Analisis harmonik pasang surut air laut di perairan Pulau Abang Besar diolah menggunakan metode *Admiralty*. Metode yang sama juga digunakan oleh Wicaksono *et al.* (2016), Supriyadi *et al.* (2018), dan Pasaribu *et al.* (2022) dalam analisis pasang surut air laut. Tujuan perhitungan ini adalah untuk memperoleh konstanta harmonik pasang surut, yang meliputi Amplitudo (A) dan keterlambatan fase (g°) tiap komponen, yaitu komponen M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , N_2 , K_2 , P_1 , M_4 , MS_4 , dan S_4 . Menurut Supriyadi *et al.* (2018), konstanta harmonik pasang surut yang terdapat pada metode *Admiralty* terdapat 10 komponen berdasarkan faktor pengaruhnya, yaitu M_2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan; S_2 : Amplitudo komponen pasang surut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari; K_1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari; O_1 : Amplitudo komponen pasang surut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan; N_2 : Amplitudo komponen pasang surut semidiurnal yang disebabkan oleh lintasan elips bulan; K_2 : Amplitudo komponen pasang surut semidiurnal yang disebabkan gabungan dari gaya tarik bulan dan matahari (lunisolar); P_1 : Amplitudo komponen pasang surut diurnal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari; M_4 : Amplitudo komponen pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik bulan pada perairan dangkal; MS_4 : Amplitudo komponen pasang surut seperempat harian pada perairan dangkal; S_4 : Amplitudo komponen pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik bulan pada perairan dangkal.

Konstanta harmonik pasang surut diperoleh dari hasil prediksi/ peramalan pasang surut global yang tersedia di MIKE 21. Metode *Admiralty* merupakan metode penentuan pasang surut dengan rentang data yang pendek dan memerlukan tabel pendukung berisi konstanta perhitungan dalam proses pengerjaannya (Fitriana *et al.*, 2019). Keuntungan metode *Admiralty* bertumpu pada dua hal, yaitu dapat digunakan pada berbagai kondisi perairan dan membutuhkan input rentang waktu pengamatan yang singkat (Supriyadi *et al.*, 2018). Setelah diketahui nilai komponen pasang surut utama. Selanjutnya, menghitung bilangan untuk menentukan tipe pasang surut. Penentuan tipe pasang surut dihitung dengan menggunakan persamaan bilangan *formzahl*, yaitu sebagai berikut:

$$F = \frac{(K_1 + Q_1)}{(M_2 + S_2)}$$

Tabel 1. Perhitungan Elevasi Pasang Surut

Elevasi	Simbol	Rumus
Highest High Water Level	HHWL	$Z_0 + (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$
Lowest Low Water Level	LLWL	$Z_0 - (M_2 + S_2 + K_2 + K_1 + O_1 + P_1)$

Rompas *et al.* (2022) menyatakan bahwa secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe yaitu Pasang surut harian ganda/ *semi diurnal tide* ($0 < F \leq 0.25$). Pasang surut yang memiliki sifat dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan juga dua kali surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi berurutan secara teratur; Pasang surut harian tunggal/ *diurnal tide* ($F > 3$). Tipe pasang surut yang apabila dalam satu hari hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut; Pasang surut campuran condong ke harian ganda/ *mixed tide prevailing semi diurnal* ($0.25 < F < 1.5$). Pasang surut yang dalam sehari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda; Pasang surut campuran condong ke harian tunggal/ *mixed tide prevailing diurnal* ($1.5 < F \leq 3$). Pasang surut dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang- kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Secara temporal, pasang surut ini selalu memiliki nilai ketinggian yang berbeda jika dibandingkan dengan perairan lepas. Sehingga diperlukan beberapa parameter elevasi dalam rangka penentuan rekayasa di suatu pantai, seperti *Mean Sea Level* (MSL), *Highest High Water Level* (HHWL) dan *Lowest Low Water Level* (LLWL). Rahmawati *et al.* (2015) menyatakan bahwa nilai MSL dapat diperoleh dari konstanta hasil analisis data pasang surut dengan menguakan rumus berikut:

$$MSL = A(S_0)$$

Sedangkan Supriyadi *et al.* (2018) menyatakan bahwa nilai HHWL dan LLWL dapat diperoleh dari konstanta hasil analisis data pasang surut dengan menggunakan rumus yang tersaji di Tabel 1. Selanjutnya metode yang digunakan dalam menganalisis pola arus dan gelombang dengan melakukan pemodelan matematis atau permodelan numerik. Model numerik yang digunakan dalam studi ini adalah model numerik dalam bentuk *software user interface* dengan nama DHI MIKE yang dikembangkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) Water and Environment, Denmark. Paket model yang digunakan dalam studi ini adalah *Coupled Model FM*. *Coupled Model FM* merupakan paket model integrasi Modul *Hydrodynamic* (HD) dan *Spectral Wave* (SW) dengan pendekatan elemen hingga (*finite element*). Modul *Hydrodynamic* (HD) digunakan untuk memperkirakan perubahan pola arus. Pemodelan hidrodinamika (arus) bertujuan untuk mengetahui karakteristik arus secara spasial dan temporal di wilayah studi. Persamaan yang digunakan pada model ini adalah persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dengan perata-rataan kedalaman. Kedua persamaan tersebut masing-masing dituliskan sebagai berikut

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = hs$$

Persamaan momentum:

$$\text{Arah x : } \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} + \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s S$$

$$\text{Arah y : } \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} + \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s S$$

Dimana: t : Waktu; x, y & z : Koordinat kartesian; η : Tinggi muka laut; d : Kedalaman perairan; h : ($\eta + h$); u, v : Komponen kecepatan arus arah zonal dan meridional dan vertikal; f : Komponen koriolis ($2\Omega \sin \phi$) dimana Ω adalah kecepatan rotasi bumi dan ϕ adalah posisi lintang; g : Percepatan gaya gravitasi bumi; ρ : Densitas air; S_{xx}, S_{xy}, S_{yx} & S_{yy} : Radiasi tensor tekanan massa air pada komponen xx, xy, yx dan yy ; τ_t : Turbulensi vertikal; P_a : Tekanan udara; ρ_0 : Referensi densitas Air; S : Debit dari sumber.; U_s & V_s : Kecepatan arus komponen zonal dan meridional ketika memasuki sistem.

Modul *Spectral Wave* (SW) digunakan untuk pemodelan perubahan ramabatan gelombang. MIKE 21 SW mensimulasi pembangkitan, kehilangan energi dan transmisi *wind-generated waves dan swell* di pantai dan lepas pantai. Persamaan pengatur dari MIKE 21 SW adalah persamaan keseimbangan gaya gelombang baik dalam koordinat kartesian maupun *spherical* yang dirumuskan sebagai berikut :

Koordinat kartesian

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Dimana: $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$: rapat gaya; t : waktu; $\vec{x}(x, y)$: koordinat kartesian; $\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$: kecepatan propagasi grup gelombang empat dimensi; S : sumber energi.

Koordinat spherical

$$\hat{N} = NR^2 \cos\phi = \frac{ER^2 \cos\phi}{\sigma}$$

Dimana: $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$: rapat gaya; $\vec{x}(\phi, \lambda)$: koordinat kartesian; E : rapat energi normal; R : jari-jari bumi
 Dalam koordinat polar persamaan keseimbangan gaya gelombang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \hat{N}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} c_\phi \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda \hat{N} + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta \hat{N} = \frac{\hat{S}}{\sigma}$$

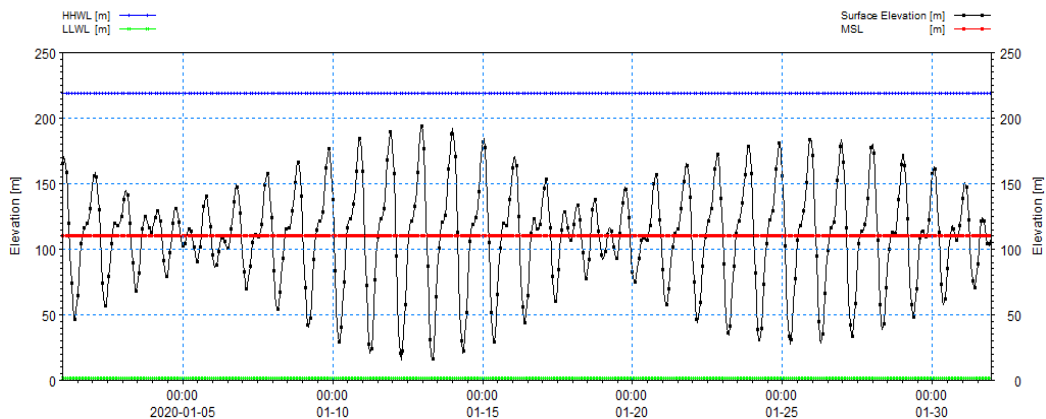
Dimana: $\hat{S}(\vec{x}, \sigma, \theta, t) = SR^2 = total\ source\ dan\ sink\ function$; Energi *source*, S , menunjukkan superposisi *source function* dari berbagai macam fenomena fisik.

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Dimana: S_{in} : pembentukan energi oleh angin; S_{nl} : transfer energi gelombang akibat *non linear wave-wave interaction*; S_{ds} : disipasi energi gelombang akibat *white capping*; S_{bot} : disipasi akibat *bottom friction*; S_{surf} : disipasi energi gelombang akibat *depth-induced breaking*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengolahan data pasang surut di wilayah studi didapatkan nilai-nilai komponen pasang surut seperti pada Tabel 2. Hasil pengolahan data pasang surut menunjukkan nilai bilangan Formzahl (F) sebesar 2.1 (Tabel 3). Berdasarkan nilai Formzahl tersebut disimpulkan bahwa tipe pasang surut pada area kajian adalah pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide, prevailing diurnal*). Hal ini dikarenakan range nilai Formzahl berkisar antara 1.5 sampai kurang dari sama dengan 3.0 ($1.5 < F \leq 3.0$). Menurut Wyrki dalam Hutabarat (1986) menyatakan bahwa *mixed tide, prevailing diurnal* (pasang surut campuran condong harian tunggal) merupakan pasang surut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut, namun terkadang juga terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai air laut terendah pada saat pasang surut purnama (LLWL) adalah 1.4 cm, nilai rata-rata ketinggian air laut adalah 110.0 cm dan nilai air laut tertinggi pada saat pasang surut purnama (HHWL) adalah 218.6 cm. Kisaran (*range*) pasut yang besar terjadi pada waktu pasut purnama, sedangkan range pasut terkecil terjadi pada saat pasut perbani (Gambar 1).



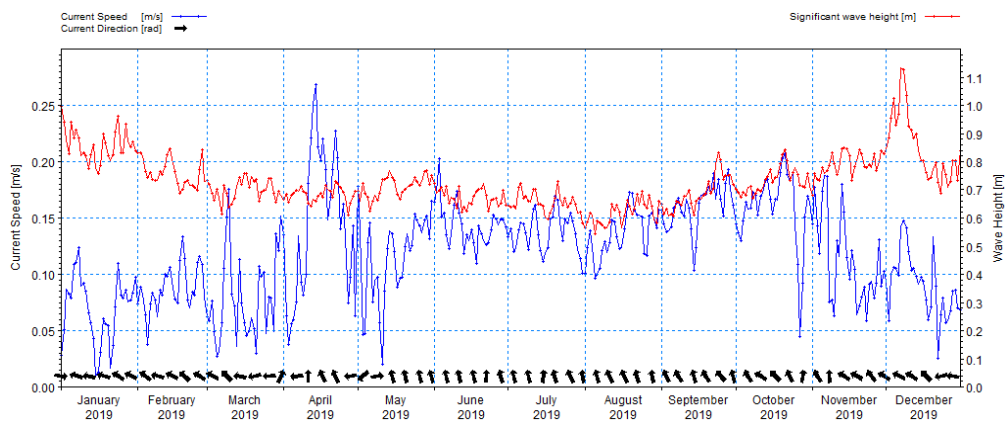
Gambar 1. Elevasi Pasang Surut Periaran Sekitar Pulau Abang Besar pada Januari 2020

Tabel 2. Komponen Pasang Surut Hasil Pengolahan Metode *Admiralty*

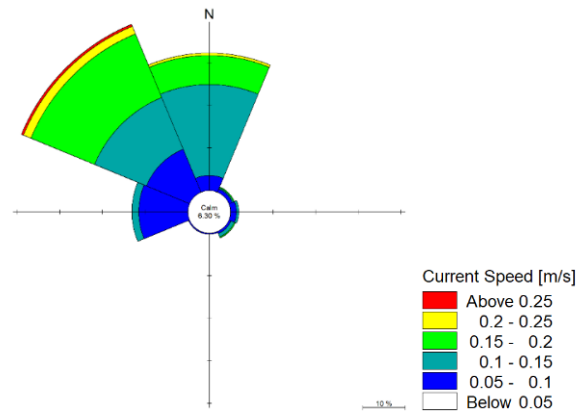
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
A cm	109.995	25.998	5.626	3.015	42.242	25.113	0.023	0.084	1	14
g ^o	696.00	-520.49	-22.20	-403.54	-30.08	30.88	-1136.47	-412.34	-22	-30

Tabel 3. Elevasi muka air laut wilayah kajian

Parameter	Nilai	Satuan
F	2.1	-
LLWL	1.4	cm
MSL	110.0	cm
HHWL	218.6	cm



Gambar 2. Grafik Arus Laut Musiman di Wilayah Studi

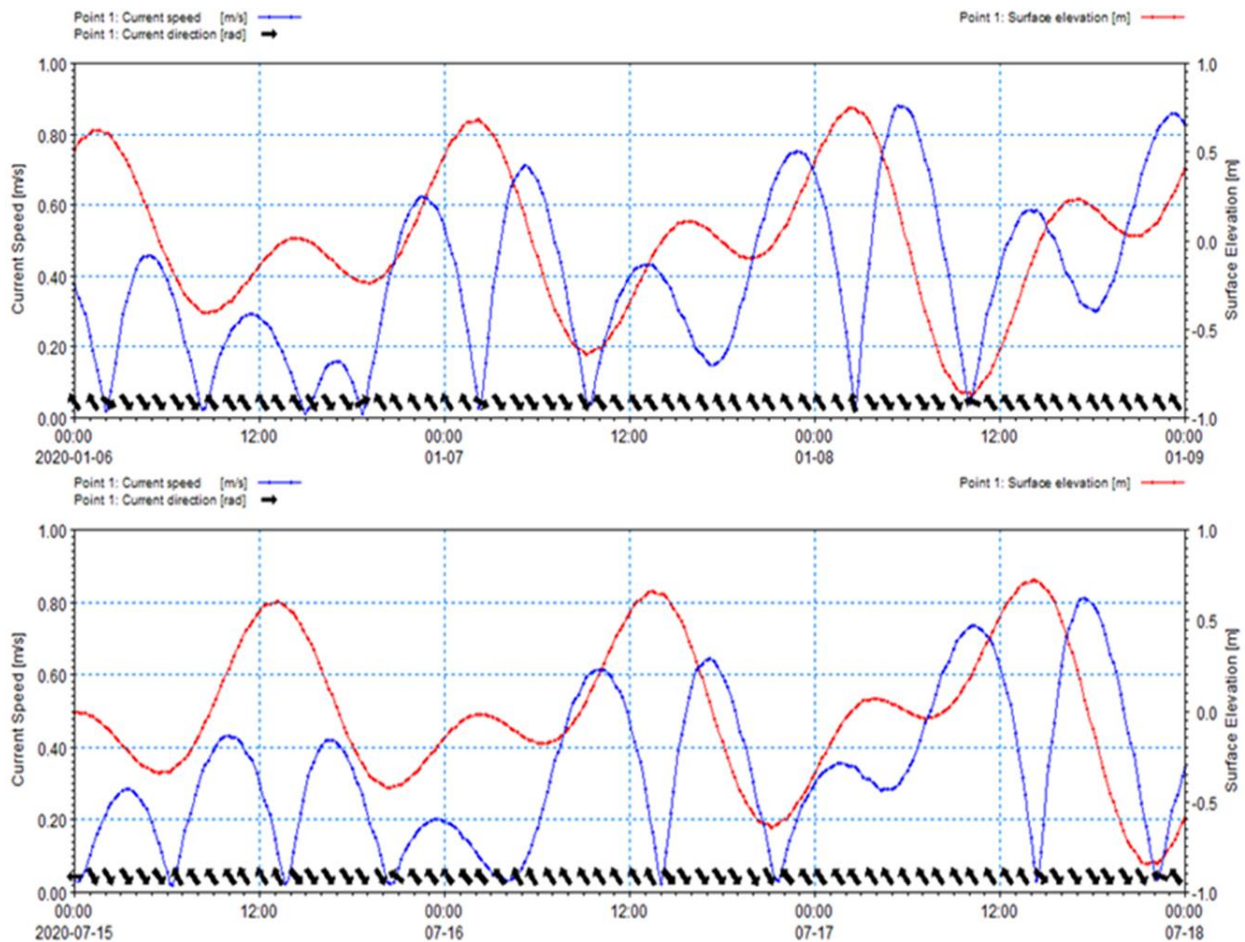


Gambar 3. Distribusi Pola Arus Laut Musiman di Area Kajian

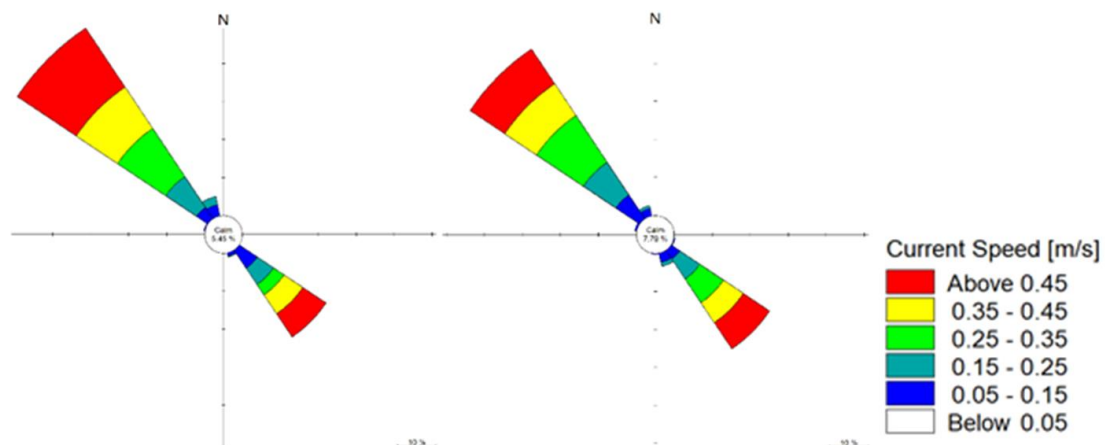
Pola arus permukaan dan gelombang laut di perairan Batam dan sekitarnya bervariasi disetiap bulan. Kajian arus laut di wilayah kegiatan dianalisa secara *time series* bulanan seperti data gelombang dan pada kondisi pasang surut. Analisa arus laut rerata buanan ditampilkan dalam bentuk grafik *time series* dan *current rose* (mawar arus) untuk melihat distribusi arah pergerakan arus laut. Berdasarkan grafik dan *current rose* (mawar arus) di area kajian tampak bahwa arus dominan bergerak ke arah Utara dan Barat Laut dengan kecepatan maksimum mencapai 0.25 m/s. Arus laut di lokasi tersebut bertolak belakang dengan tinggi gelombang, pada awal dan akhir tahun, kecepatan arus laut cenderung rendah dan bergerak ke arah Barat,

sedangkan pada pertengahan tahun kecepatan arus relatif tinggi dengan pergerakan ke arah Utara dan Barat Laut.

Kajian arus pasang surut di pesisir perairan Pulau Abang Besar menggunakan metode pemodelan hidrodinamika dua dimensi. Pemodelan dilakukan pada dua musim (musim utara) dan dianalisa pada setiap kondisi pasang surut (pasang tertinggi, pasang menuju surut, surut terendah dan surut menuju pasang).

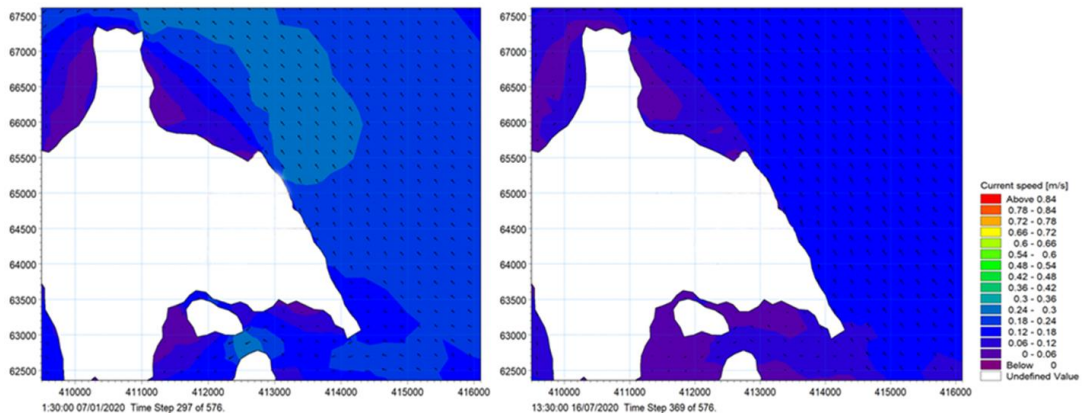


Gambar 4. Grafik Arus Laut Terhadap Elevasi Pasang Surut Saat Musim Utara (Atas) dan Musim Selatan (Bawah)

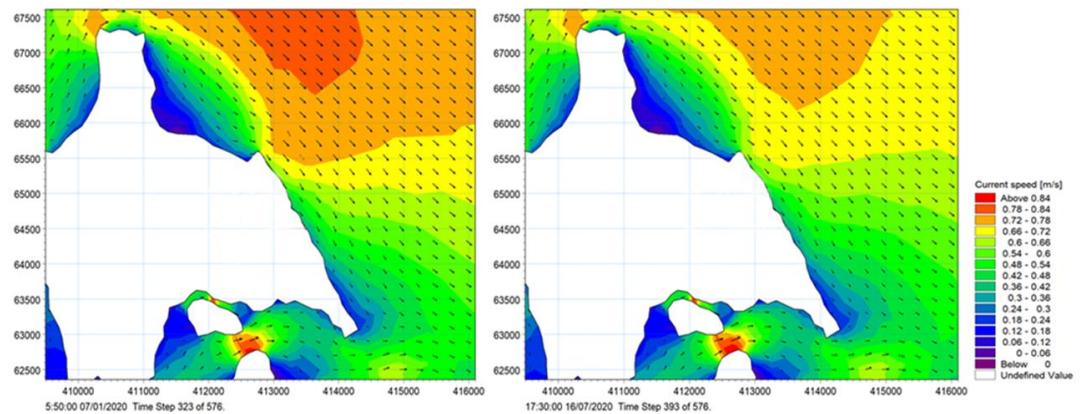


Gambar 5. Distribusi Pola Arus Laut Pasang Surut Saat Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)

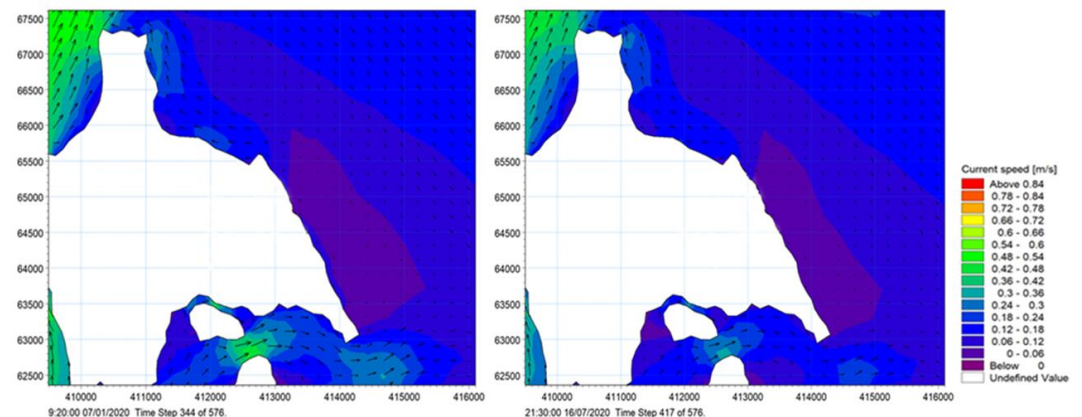
Berdasarkan pemodelan numerik hidrodinamika dua dimensi di perairan Pulau Abang Besar tidak terlihat perbedaan yang signifikan saat musim utara dan musim selatan, akan tetapi perbedaan signifikan tampak saat adanya perbedaan elevasi pasang surut. Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa arus laut yang paling berpengaruh di sekitar Perairan Pulau Abang Besar yakni arus pasang surut. Pola arus laut di perairan Pulau Abang Besar laut cenderung bergerak dua arah yakni ke arah Tenggara dan Barat Laut. Saat kondisi surut menuju pasang dan pasang tertinggi arus laut bergerak ke arah Barat Laut dengan kecepatan mencapai 0.4 m/s. Saat kondisi pasang menuju surut dan surut terendah, arus laut bergerak ke arah Tenggara dengan kecepatan mencapai 0.7 m/s.



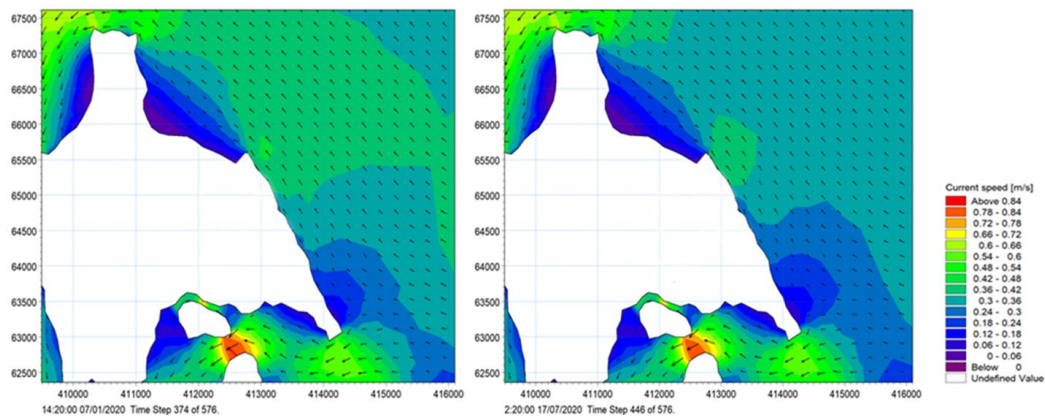
Gambar 6. Model Arus Laut Saat Kondisi Pasang Tertinggi di Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)



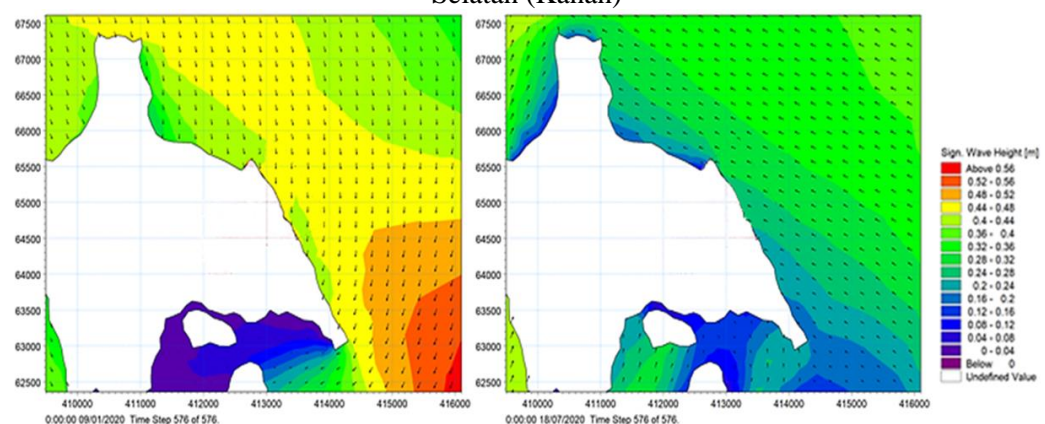
Gambar 7. Model Arus Laut Saat Kondisi Pasang Menuju Surut di Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)



Gambar 8. Model Arus Laut Saat Kondisi Surut Terendah di Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)



Gambar 9. Model Arus Laut Saat Kondisi Surut Menuju Pasang di Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)



Gambar 10. Model Penjalaran Gelombang Perairan Pulau Abang Besar saat Musim Utara (Kiri) dan Musim Selatan (Kanan)

Simulasi model penjalaran gelombang hingga ke pesisir Pulau Abang Besar dibuat dengan metode pemodelan numerik dua dimensi. Pemodelan dilakukan pada dua musim yang mewakili pola musiman yang mempengaruhi gelombang perairan wilayah Batam, Bintan dan Karimun, yakni musim utara dan musim selatan. Berdasarkan hasil pemodelan tampak bahwa gelombang saat musim utara lebih tinggi daripada gelombang saat musim selatan. Saat musim utara, gelombang datang dari arah utara dan timur laut menuju selatan dan barat daya, sehingga pesisir sisi timur Pulau Abang Besar rentan terjadi gelombang tinggi saat musim utara. Tinggi gelombang saat musim utara di sisi timur Pulau Abang Besar mencapai 1 m, akan tetapi gelombang pecah terjadi saat menyentuh Tubir Pulau, dikarenakan pengaruh refraksi gelombang. Saat musim selatan, gelombang datang dari arah Selatan dan Tenggara dengan tinggi gelombang maksimum disekitar perairan Pulau Abang Besar yakni 0.4 m. Model spasial penjalaran gelombang di perairan sekitar Pulau Abang Besar saat musim Utara dan Musim Selatan disajikan Gambar 10.

Tipe pasang surut di perairan Pulau Abang Besar, Kota Batam adalah pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide, prevalling diurnal*). Pada pasang surut campuran condong harian tunggal dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, akan tetapi terkadang terjadi dua kali pasang surut. Sedangkan berdasarkan Irawan *et al.* (2018) yang melakukan penelitian di Kecamatan Nongsa, Pulau Batam menyatakan bahwa tipe pasang surut di Pulau Batam adalah pasang surut harian ganda/ *semi diurnal tide*, dimana terjadi dua kali pasang surut dalam sehari, tetapi tinggi dan periode pasang surut yang berbeda. Faktor yang menyebabkan perbedaan pasang surut harian ganda dan pasang surut harian tunggal adalah bentuk dan kedalaman laut serta efek resonansi pasang surut. Pulau dengan topografi atau kedalaman laut yang tidak terlalu mendalam cenderung mengalami perbedaan pasang surut yang lebih besar antara pasang besar dan pasang kecil (harian ganda). Kurniawan *et al.* (2019) menyatakan bahwa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasang surut suatu perairan seperti, topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya, sehingga berbagai lokasi memiliki ciri pasang surut yang berlainan.

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa gelombang air laut di wilayah studi saat musim utara lebih tinggi daripada gelombang saat musim selatan. Tinggi gelombang saat musim utara di sisi timur Pulau Abang Besar mencapai 1 m, akan tetapi gelombang pecah terjadi saat menyentuh Tubir Pulau, dikarenakan pengaruh refraksi gelombang. Saat musim selatan, gelombang datang dari arah Selatan dan Tenggara dengan tinggi gelombang maksimum disekitar perairan Pulau Abang Besar yakni 0.4 m. Tinggi gelombang air laut masih dimungkinkan untuk kegiatan perikanan. Haiyqal *et al.* (2020) menyatakan bahwa ketinggian gelombang antara 2.00-3.00 m berbahaya bagi kapal nelayan dan tongkang. Irawan *et al.* (2018) menyatakan bahwa gelombang laut di perairan perairan Pulau Batam memiliki memiliki tipe pasang surut semi diurnal dengan tinggi gelombang yang masih terbilang kecil karena gelombang di perairan di wilayah studi merupakan gelombang yang disebabkan oleh angin. Adji *et al.* (2020) menyatakan bahwa kondisi tinggi gelombang laut tertinggi berada pada musim utara dengan rata-rata tinggi gelombang pada tahun 2018 adalah 0,69 m (). Karakteristik gelombang laut lebih dominan dipengaruhi oleh angin dari Selat Karimata di bagian timur sebelah selatan perairan Kota Batam-utara Kabupaten Lingga yang merupakan laut lepas dan tidak ada rintangan. Sedangkan gelombang laut di bagian barat perairan selatan Kota Batam-utara Kabupaten Lingga dipengaruhi oleh angin yang melewati Selat Malaka dan tidak memberikan dampak yang signifikan.

KESIMPULAN

Pola arus laut di perairan Pulau Abang Besar laut cenderung bergerak dua arah yakni ke arah Tenggara dan Barat Laut. Saat kondisi surut menuju pasang dan pasang tertinggi arus laut bergerak ke arah Barat Laut dengan kecepatan mencapai 0.4 m/s. Saat kondisi pasang menuju surut dan surut terendah, arus laut bergerak ke arah Tenggara dengan kecepatan mencapai 0.7 m/s. Gelombang air laut saat musim utara lebih tinggi daripada gelombang saat musim selatan. Tinggi gelombang saat musim utara di sisi timur Pulau Abang Besar mencapai 1 m, akan tetapi gelombang pecah terjadi saat menyentuh Tubir Pulau. Saat musim selatan, gelombang datang dari arah Selatan dan Tenggara dengan tinggi gelombang maksimum disekitar perairan Pulau Abang Besar yakni 0.4 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S. H., Putra, R. D., Suhana, M. P., Febrianto, T. & Koenawan, C. J. 2020. Characteristic of Sea Waves Southern Batam City Waters-Northern Lingga District Waters. *Journal of Applied Geospatial Information*, 4(2), 367-371.
- Al Idrus, A., Mertha, I. G., Marhus & Husain, P. 2023. The Characteristics of Sentigi (*Pemphis acidula*) as Environmental Bioindicators of Mangrove Conservation in the Regional Marine Conservation Area Gili Sulat, East Lombok, Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(1): 542-549. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i1.2521>.
- Armansyah, D., Sukoco, N. B., Kamija, Adrianto, D., Dewantono, L. & Pranowo, W.S. 2016. Purwarupa Dukungan Data Arus Laut Operasional Bersumber dari Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) Dalam Format AML IWC Arus Laut Untuk TNI AL. *Jurnal Hidrologi Indonesia*, 1(2): 14-26.
- Fitriana, D., Oktaviani, N. & Khasanah, I. U. 2019. Analisa harmonik Pasang Surut Dengan Metode *Admiralty* pada Stasiun Berjarak Kurang dari 50 km. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 6(1): 38-48.
- Haiyqal, S. V., Ismanto, A., Indrayanti, E. & Andrianto, R. 2023. Karakteristik Tinggi Gelombang Laut pada saat Periode Normal, El Niño dan La Niña di Selat Makassar. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1): 190-202. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.17003>.
- Hasanah, F. T. 2020. Karakteristik Wilayah Daratan dan Perairan di Indonesia. *Jurnal Geografi*, 20(13): 1-6.
- He, Q. & Wang, H. 2018. Sedimentation and erosion in coastal environments: Impacts on ecosystem services. *Coastal Engineering*, 134: 28-37.
- Hutabarat, S. 1986. *Pengantar Oseanografi*. UI Press, Jakarta.
- Irawan, S. 2016. Pemetaan Pasang Surut dan Arus Laut Pulau Batam dan Pengaruhnya terhadap Jalur Transportasi Antarpulau. *Jurnal Kelautan Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1): 32-42. <http://dx.doi.org/10.21107/jk.v9i1.1150>.
- Irawan, S., Fahmi, R. & Roziqin, A. 2018. Kondisi Hidro-Oseanografi (Pasang Surut, Arus Laut, Dan Gelombang) Perairan Nongsa Batam. *Jurnal Kelautan*, 11(1): 56-68. <http://dx.doi.org/10.21107/jk.v11i1.4496>.

- Kurniawati, K., Damar, A. & Wiryawan, B. 2011. Strategi Pemanfaatan Nilai Ekonomi Terumbu Karang Kelurahan Pulau Abang, Kecamatan Galang, Kota Batam. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 17(1): 227-236.
- Kurniawan, A. P., Jasin, M. I. & Mamoto J. D. 2019. Analisis Data Pasang Surut di Pantai Sindulang Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(5): 567-574.
- Kurniawan, D., Febrianto, T. & Hasnarika, H. 2019. Kondisi ekosistem terumbu karang di Perairan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Pengelolaan Perairan*, 2(2): 13–27.
- Pasaribu, R. P., Sewiko R. & Arifin. 2022. Penerapan Metode *Admiralty* untuk Mengolah Data Pasang Surut di Perairan Selat Nasik - Bangka Belitung. *Jurnal Ilmiah Platax*, 10(1): 146-160. <http://dx.doi.org/10.35800/jip.v10i1.39719>.
- Pryor, S. C. & Barthelmie, R. J. 2010. Climate change impacts on wind energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.028>.
- Puspitasari, A. T. T., Amron, A. & Alisyahbana, S. 2016. Struktur Komunitas Karang Berdasarkan Karakteristik Perairan di Taman Wisata Perairan (TWP) Kepulauan Anambas. *Omni-Akuatika*, 12(1): 55-72. <http://dx.doi.org/10.20884/1.oa.2016.12.1.30>.
- Rahadiarta, I., Vidyananda, S. & Yulianto, S. 2019. Simpanan Karbon Org pada Padang Lamun di Kawasan Pantai Mengiat Nusa Dua Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 5(1):1-10. <http://dx.doi.org/10.24843/jmas.2019.v05.i01.p01>.
- Rahmawati, W., Handoyo, G. & Rochaddi, B. 2015. Kajian Elevasi Muka Air Laut di Perairan Pantai Kartini Jepara. *Jurnal Oseanografi*, 4(2): 487-491.
- Rompas, N. F., Jasin, M. I. & Tawas. H. J. 2022. Analisis Pasang Surut di Pantai Mahembang Kecamatan Kakas Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 10(1): 63-68.
- Supriyadi, E., Siswanto & Pranowo, W. S. 2018. Analisis Pasang Surut di Perairan Pameungpeuk, Belitung, dan Sarmi Berdasarkan Metode *Admiralty*. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 19(1): 29-38. <https://doi.org/10.31172/jmg.v19i1.518>.
- Sutirto & Trisnoyuwono, D. 2014. *Gelombang dan Arus Laut Lepas*. Graha Ilmu, Kupang.
- Syaiful, H., Amalia, E. & Budiarta, I. N. 2023. Analisa Dampak Pengembangan Destinasi Wisata Bahari Pulau Abang Terhadap Masyarakat. *Jurnal Mata Pariwisata*, 2(1): 16-23. https://doi.org/10.59193/terapan_pariwisata_3.
- Wasniatun. 2024. *Literature review: ekosistem lamun sebagaibioindikator pencemaran lingkungan pesisir. Biocaster: Jurnal Kajian Biologi*, 4(3): 114-121.
- Wicaksono, P. P., Handoyo, G. & Atmodjo, W. 2016. Analisis Peramalan Pasang Surut dengan Metode *Admiralty* dan Autoregressive Integrated Moving Average (Arima) di Perairan Pantai Widuri Kabupaten Pematang. *Jurnal Oseanografi*, 5(4): 489-495.
- Wyrski, K. 1961. *Physical oceanography of the Southeast Asian waters. NAGA Report Vol 2*. The University of California. La Jolla, California.