

KARAKTERISTIK KECEPATAN HANYUT GELOMBANG DI TELUK JAKARTA TAHUN 2012 - 2021

SEA SURFACE STOKES DRIFT VELOCITY CHARACTERISTICS IN JAKARTA BAY 2012 - 2021

Ibnu Abdul Azies¹, Widodo Pranowo², & I Wayan Sumardana Eka Putra³

¹Program Studi S2 Oseanografi Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

³PhD Student, Doctoral Program of Marine Science, IPB University

Email: azies4600@gmail.com

ABSTRAK

Teluk Jakarta adalah perairan di wilayah Jakarta yang memiliki nilai penting dalam hal aktivitas berbagai kegiatan di laut di bidang transportasi, proyek instalasi dan pembangunan struktur bangunan lepas pantai, atau bidang pariwisata. Memahami perilaku gelombang di wilayah ini menjadi salah satu referensi sekaligus kunci dalam pengambilan keputusan yang efisien dan berkelanjutan pada berbagai aspek pemanfaatan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik kecepatan hanyut gelombang (*surface Stokes drift velocity*) di perairan Teluk Jakarta, dilaksanakan dengan melakukan analisis data pemodelan gelombang global *Marine Copernicus* berdasarkan empat stasiun observasi virtual 10 tahun (2012 – 2021). Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan hanyut gelombang di perairan Teluk Jakarta bervariasi secara spasial dan temporal. Kecepatan hanyut gelombang memiliki korelasi positif kuat terhadap gelombang angin jika dibandingkan dengan gelombang signifikan (total gelombang signifikan) dan gelombang alun. Rata-rata kecepatan hanyut gelombang selama periode 10 tahun (2012 – 2021) diperoleh bahwa rata-rata kecepatan hanyut gelombang adalah 0,004 – 0,04 m/s, dengan nilai rata-rata simpangan arah dari arah gelombang signifikan 8,1° – 9,9°. Karakteristik kecepatan hanyut gelombang di Teluk Jakarta adalah bahwa semakin tinggi gelombang angin, maka kecepatan hanyutnya akan bertambah.

Kata kunci: kecepatan hanyut gelombang, pemodelan gelombang global, variasi klimatologi bulanan dan musiman, Teluk Jakarta.

ABSTRACT

Jakarta Bay waters in the Jakarta area have important value in terms of various activities at sea in the field of transportation, installation projects, and construction of offshore building structures, or the tourism sector. Understanding wave behavior in this region is a reference and key to making efficient and sustainable decisions on various aspects of water use. This research aims to examine the characteristics of surface Stokes drift velocity in Jakarta Bay, carried out by analyzing Marine Copernicus global wave modeling data based on four virtual observation stations for 10 years (2012 - 2021). The results of the analysis show that the speed of surface Stokes drift velocity in Jakarta Bay varies spatially and temporally. Surface

Stokes drift speed has a strong positive correlation with wind waves when compared with significant waves (total significant waves) and swell. The average surface Stokes drift speed over a 10-year period (2012 – 2021) shows that the average is 0,004 – 0,04 m/s, with an average deviation from the significant wave direction of 8.1° – 9.9°. The characteristic of wave drift speed in Jakarta Bay is that the higher the wind wave, the higher the drift speed.

Keywords: *sea surface Stokes drift, global wave modeling, monthly and seasonal climatological variations, Jakarta Bay.*

PENDAHULUAN

Beberapa kejadian kecelakaan di laut yang pernah terjadi, pada Januari 2021 kecelakaan tragis pesawat Sriwijaya Air SJ 182 terjadi di perairan Kepulauan Seribu (Nugraheni, 2023), September 2023 peristiwa nelayan Jakarta yang hanyut di laut selama empat hari dan akhirnya ditemukan selamat di perairan Erlin, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung (Dahnur, 2023), dan masih banyak peristiwa-peristiwa lain yang terjadi di perairan Indonesia. Apabila ditinjau dari sudut pandang oseanografi, hal ini merupakan suatu tantangan dalam memodelkan lintasan hanyut di suatu perairan guna memberikan bahan, referensi awal dalam tindakan penyelamatan dalam operasi Pencarian dan Pertolongan (*Search and Rescue* (SAR)). Untuk itu, data dan informasi terkait oseanografi seperti gelombang laut, sangat berguna bagi keselamatan, efektivitas dan efisiensi berbagai kegiatan di laut di bidang transportasi, proyek instalasi dan pembangunan struktur bangunan lepas pantai, atau bidang pariwisata (Habibie dan Fitria *et al.*, 2019). Kaitannya dengan gelombang, salah satu parameter penting yang perlu dipahami adalah perihal kecepatan hanyut gelombang (*sea surface Stokes drift velocity*). Kecepatan hanyut gelombang

merupakan suatu gambaran dari pergerakan rata-rata partikel air di permukaan laut akibat interaksi antara gelombang dan faktor-faktor eksternal seperti angin dan arus, baik secara temporal maupun spasial. Profil kecepatan hanyut gelombang diperlukan untuk beberapa hal aplikasi penting dalam pemodelan lautan, seperti perhitungan lintasan benda yang melayang, minyak dan zat lainnya (Breivik *et al.*, 2016).

Teluk Jakarta merupakan salah satu wilayah perairan di Indonesia yang ramai akan lalu-lalang transportasi laut, pariwisata, pemanfaatan di bidang perikanan (Mustikasari *et al.*, 2019), dan karakteristiknya dipengaruhi oleh empat periode musiman yang terjadi di Indonesia yaitu Musim Barat (Desember-Januari-Februari), Musim Peralihan I (Maret-April-Mei), Musim Timur (Juni-Juli-Agustus) dan Musim Peralihan II (September-Oktober-November) (Wyrтки, 1961; Siregar *et al.*, 2017). Periode musiman ini dipengaruhi oleh kekuatan dan durasi angin sehingga menentukan tinggi, periode dan arah gelombangnya, durasi angin yang terus menerus dan berlangsung lama akan membangkitkan gelombang (Hidayati, 2017; Habibie dan Fitria *et al.*, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik kecepatan hanyut gelombang di perairan Teluk Jakarta pada periode

2012 – 2021 (10 tahun) berdasarkan data model gelombang global *Marine Copernicus*.

Penelitian ini diharapkan akan memberikan wawasan yang lebih dalam tentang perilaku kecepatan hanyut gelombang di laut, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan strategi manajemen perairan yang lebih efektif dan adaptasi terhadap perubahan iklim di masa depan. Selain itu, pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik kecepatan hanyut gelombang akan mendukung berbagai aplikasi praktis di bidang maritim dan oseanografi, serta memberikan sumbangan ilmiah yang signifikan dalam memahami dinamika perairan laut, khususnya di perairan Teluk Jakarta.

BAHAN DAN METODE

Berdasarkan *Copernicus Service Catalogue 2023* dijelaskan bahwa tinggi gelombang signifikan, merupakan suatu parameter yang merepresentasikan ketinggian rata-rata sepertiga tertinggi gelombang laut (*ocean/sea surface wave*) yang dihasilkan akibat adanya angin dan alun (*swell*), yang mana spektrum gelombang ini dapat diuraikan menjadi gelombang angin (*wind-sea waves*) yang dipengaruhi langsung oleh angin lokal, dan gelombang alun yang ditimbulkan akibat pengaruh angin pada lokasi dan waktu yang berbeda. Sedangkan arah rata-rata gelombang laut diperoleh dari pengaruh angin lokal dan alun, dengan satuan arah rata-rata gelombang laut dalam derajat (*degree true*) (van den Bremer dan Breivik, 2018; Liu *et al.*, 2021). Dapat diartikan bila arah rata-rata gelombang 0° berarti

“datang dari arah utara”, demikian seterusnya.

Hasil penelitian perbandingan model gelombang lokal dengan model gelombang global *Marine Copernicus* di Laut Jawa bagian utara memiliki nilai galat yang relatif kecil yaitu $\pm 0,262$ (Nabila *et al.*, 2020) Dengan demikian, data model gelombang global *Marine Copernicus* dapat digunakan sebagai data penelitian untuk keperluan di bidang oseanografi, termasuk pada penelitian ini. Data *Global_Reanalysis_Wav_001_032* merupakan produk data *Marine Copernicus* yang dijadikan sebagai data *input* berupa tinggi gelombang, arah gelombang dan komponen kecepatan hanyut gelombang (VSDX-VSDY) di wilayah Teluk Jakarta selama periode 10 tahun (2012 - 2021). Format file adalah *netCDF* (*.nc), memiliki data dengan resolusi spasial $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ dan temporal tiap 3 jam. Untuk kecepatan hanyut gelombang merupakan nilai kecepatan yang berasal dari perhitungan numerik gelombang, salah satu turunannya menghasilkan komponen-u dan komponen-v, dimana komponen-u merupakan komponen pada arah sumbu-x atau komponen-utara (VSDX) dan komponen-v merupakan komponen pada arah sumbu-y atau komponen-timur (VSDY), nilai ini dibatasi beberapa meter pada bagian atas kolom air, sekitar 0,5 meter dari permukaan (Breivik *et al.*, 2016). Pada area penelitian terdapat 49 stasiun hasil *gridding* model, ditentukan stasiun observasi virtual sebanyak empat stasiun yang dianggap representatif mewakili perairan Teluk Jakarta, yaitu Stasiun-01 sampai dengan Stasiun-04. Selanjutnya *file data* tersebut di-*input*-kan

ke dalam *software Ocean Data View (ODV 5.6.5)* Schlitzer, R. (2022) untuk diolah dan dianalisis lebih lanjut secara statistik menggunakan *software Minitab 21.4.1* guna mendapatkan karakter dari distribusi data, regresi dan korelasi antara gelombang dengan kecepatan hanyut gelombang yang terjadi di Teluk Jakarta selama 10 tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data gelombang selama 10 tahun merupakan data *time series* yang panjang, umumnya data *time series* tidak berdistribusi normal (Nieto-Reyes, 2021), sehingga demikian perlu adanya pengujian untuk dapat menentukan normal tidaknya data. Hasil pemeriksaan dengan menggunakan *Minitab 21.4.1*

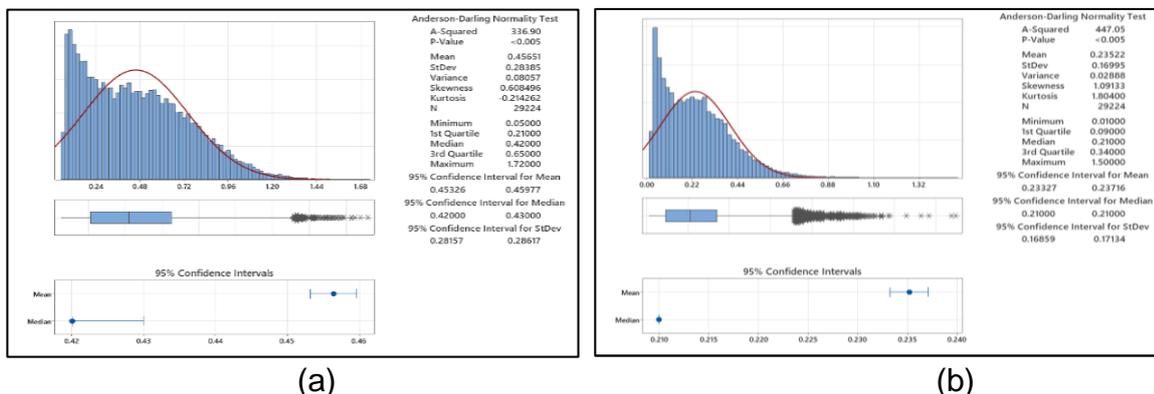
menunjukkan bahwa data dari semua stasiun tidak berdistribusi normal, contoh hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Gambar 1.

Selanjutnya, untuk memperoleh nilai kecepatan hanyut gelombang didapat dengan cara menghitung resultan dari komponen kecepatan hanyut gelombang (VSDX-VSDY), persamaannya dapat ditulis sebagai berikut (Triatmodjo, 1999; Indiyono, 2010):

$$V_{sd} = (VSDX^2 + VSDY^2)^{0.5} \dots\dots\dots 1)$$

$$Arah = \tan^{-1} \left(\frac{VSDY}{VSDX} \right) \dots\dots\dots 2)$$

Dimana,
 V_{sd} = kecepatan hanyut gelombang (sea surface Stokes drift) dalam m/s



Gambar 1. Data Gelombang Signifikan Tidak Berdistribusi Normal di Stasiun-04 (a) dan Stasiun-02 (b).

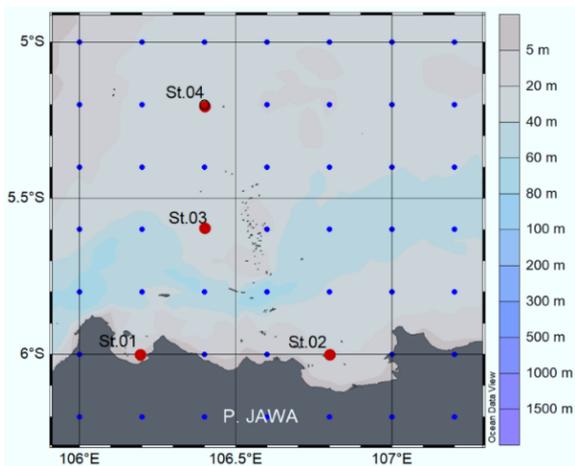
Figure 1. Non Normal Distribution of Significant Waves Data at Station-04 (a) and Station-02 (b)

Sumber: hasil pengolahan

Tabel 1. Daftar Posisi Geografis Stasiun Observasi Virtual
 Table 1. List of Station Virtual Observation Geographic Position

No	Nama Stasiun	Lintang	Bujur
1.	Stasiun – 01	6.00 ° LS	106.20 ° BT
2.	Stasiun – 02	6.00 ° LS	106.80 ° BT
3.	Stasiun – 03	5.60 ° LS	106.40 ° BT
4.	Stasiun – 04	5.20 ° LS	106.40 ° BT

Sumber: hasil pengolahan



Gambar 2. Plotting Stasiun Observasi Virtual di Perairan Teluk Jakarta dengan ODV.

Figure 2. Plotting of Virtual Observation Stations in the Jakarta Bay Using ODV.

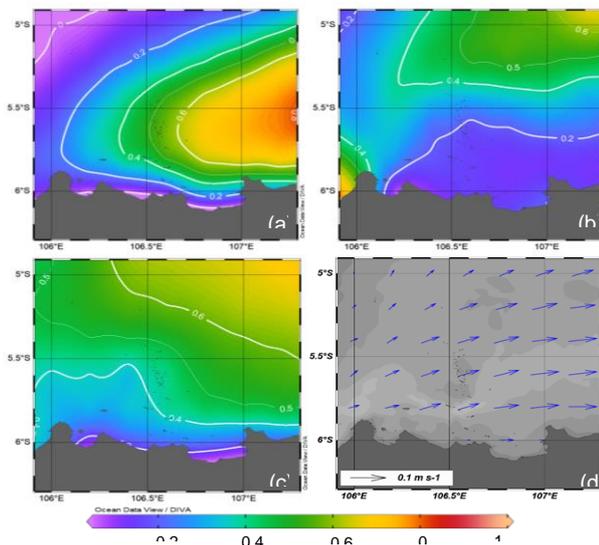
Sumber: hasil pengolahan

$VSDX$ = komponen-u *surface Stokes drift* pada sumbu x dalam m/s

$VSDY$ = komponen-v *surface Stokes drift* pada sumbu y dalam m/s

Berdasarkan persamaan tersebut, arah kecepatan hanyut gelombang dapat dihitung dengan menggunakan metoda trigonometri, dikonversikan ke dalam arah konvensi meteorologi sehingga nilai arah merupakan arah benar. Tahap selanjutnya adalah mengelompokkan data hasil olahan ODV dan menganalisisnya dengan menggunakan *Microsoft Excel 2019* dan *Minitab 21.4.1*. Daftar stasiun observasi virtual dan tampilan hasil olahan data dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

Setelah penghitungan resultan dan arah kecepatan hanyut gelombang dengan menggunakan Persamaan-1 dan Persamaan-2, dilaksanakan pemeriksaan hasil penghitungan melalui *plotting*. Contoh hasil penghitungan resultan vektor kecepatan hanyut gelombang pada tanggal 1 Januari 2012 jam 00:00 pada



Gambar 3. Visualisasi Hasil Pengolahan Data Model Gelombang Global: (a) Tinggi Gelombang Signifikan; (b) Tinggi Gelombang Alun; (c) Tinggi Gelombang Angin; (d) Vektor Kecepatan Hanyut.

Figure 3. Visualization of Global Wave Model Data Processing Results: (a) Significant Wave Height; (b) Swell Wave Height; (c) Wind Wave Height; (d) Vector of Surface Stokes Drift Velocity.

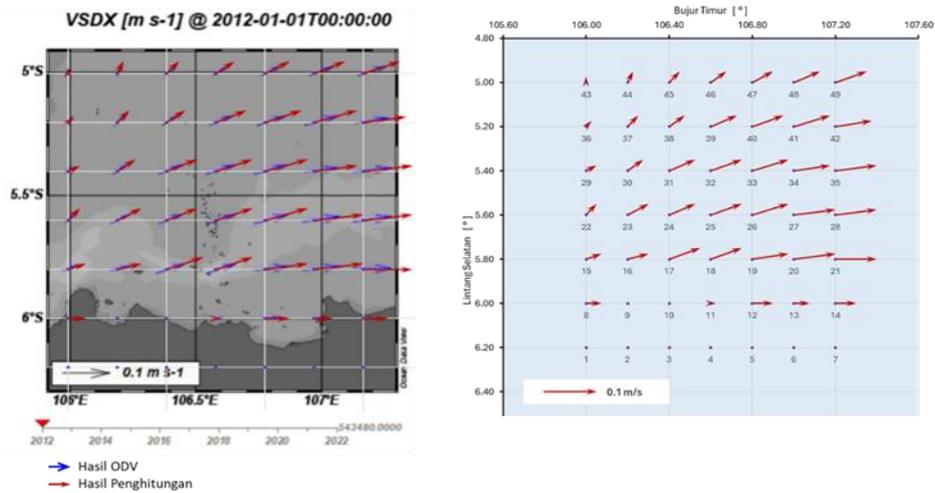
Sumber: hasil pengolahan

semua stasiun (49 stasiun) dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengolahan data gelombang, dapat ditentukan karakteristik gelombang pada masing-masing stasiun, periode 10 tahun (2012 – 2021), musiman dan bulanan. Rata-rata tinggi gelombang, varians masing-masing stasiun selama 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 3 dan Grafik 1. Arah gelombang merupakan arah penjalaran gelombang datang “dari” (Risandi *et al.*, 2021), ditunjukkan dengan

Diagram Mawar Gelombang. Sebagai contoh, arah datang gelombang signifikan di Stasiun-04 selama 10 tahun secara dominan datang dari arah timur menuju ke barat (lihat Gambar 6).

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 5 dapat diketahui bahwa rata-rata tinggi gelombang signifikan yang terjadi di semua stasiun observasi selama 10 tahun bernilai 0,12 – 0,46 meter, rata-rata tinggi gelombang alun berkisar antara 0,10 – 0,36 meter, dan rata-rata tinggi gelombang



Gambar 4. Vektor Kecepatan Hanyut Gelombang Hasil Olah ODV dan Vektor Hasil Hitung.
 Figure 4. ODV Processing Result Vector for Stokes Drift and Calculation Result Vector.
 Sumber: hasil pengolahan

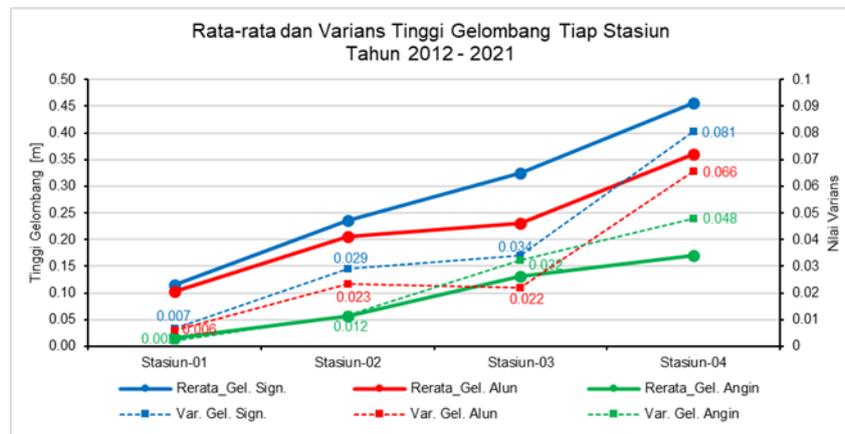
Tabel 2. Contoh Hasil Penghitungan Vektor Kecepatan Hanyut Gelombang (Vsd) di Semua Stasiun
 Table 2. Sample of Calculation Results of Stokes Drift Velocity Vector (Vsd) at All Stations

St. ID	Cepat	Arah	St. ID	Cepat	Arah	St. ID	Cepat	Arah	St. ID	Cepat	Arah	St. ID	Cepat	Arah
01	darat	darat	11	0,01	90	21	0,08	90	31	0,05	68	41	0,07	74
02	darat	darat	12	0,04	90	22	0,03	45	32	0,06	72	42	0,07	82
03	darat	darat	13	0,03	90	23	0,04	63	33	0,07	74	43	0,01	0
04	darat	darat	14	0,04	90	24	0,05	68	34	0,07	82	44	0,02	27
05	darat	darat	15	0,03	72	25	0,06	72	35	0,08	83	45	0,03	45
06	darat	darat	16	0,04	76	26	0,07	74	36	0,01	45	46	0,04	56
07	darat	darat	17	0,06	72	27	0,08	83	37	0,03	45	47	0,04	63
08	0.03	90	18	0,06	72	28	0,08	83	38	0,04	56	48	0,05	68
09	0.00	0	19	0,07	82	29	0,02	63	39	0,05	68	49	0,06	72
10	0.00	0	20	0,08	83	30	0,04	56	40	0,06	72			

Tabel 3. Rata-rata Tinggi Gelombang Tiap Stasiun Tahun 2012 – 2021 (95% Confident Interval)

Table 3. Average Wave Height for Each Station 2012 – 2021 (95% Confident Interval)

Nama St.	Tinggi Gelombang Rerata [95% CI]								
	Gel. Signifikan (m)			Gel. Alun (m)			Gel. Angin (m)		
	Lower	Mean	Upper	Lower	Mean	Upper	Lower	Mean	Upper
Stasiun-01	0,1146	0,116	0,1165	0,1011	0,102	0,1029	0,0151	0,016	0,0162
Stasiun-02	0,2333	0,235	0,2373	0,2037	0,205	0,2072	0,0551	0,056	0,0575
Stasiun-03	0,3227	0,325	0,3270	0,2284	0,230	0,2318	0,1298	0,132	0,1339
Stasiun-04	0,4533	0,457	0,4598	0,3571	0,360	0,3630	0,1679	0,170	0,1730



Gambar 5. Rata-rata Tinggi Gelombang dan Varians Tiap Stasiun Tahun 2012 - 2021

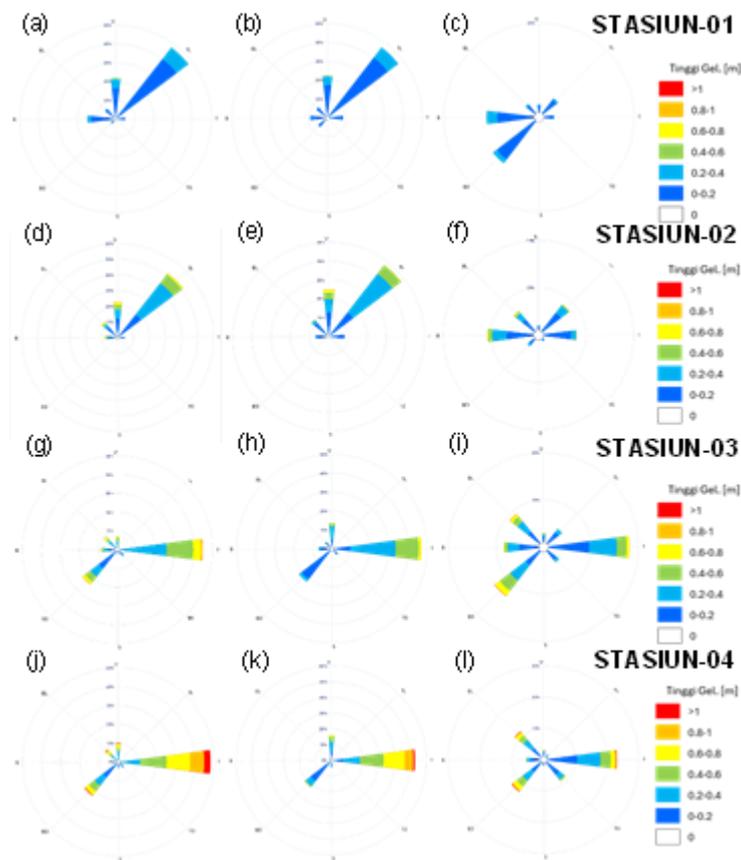
Figure 5. The Average Wave Height and Variance at Each Station for 2012 – 2021

Sumber: hasil pengolahan

angin berada pada kisaran 0,02 – 0,17 meter. Nilai rata-rata tinggi gelombang di Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 yang lokasinya berada di dekat pantai lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata tinggi gelombang di Stasiun – 03 dan Stasiun – 04 yang letaknya lebih jauh dari pantai. Hal ini sesuai dengan apa yang ditulis oleh Stewart, (2008) bahwa tinggi gelombang akan lebih besar nilainya di laut lepas (*offshore*) dibandingkan dengan gelombang yang terjadi di dekat pantai (*nearshore*). Varians merupakan nilai kuadrat simpangan baku dari data sampel (Musbahuddin dan Hasan, 2013). Nilai varians dari masing-masing gelombang cukup tinggi, bisa dikatakan bahwa data gelombang memiliki tingkat kestabilan atau

konsistensi yang rendah selama periode waktu 10 tahun. Nilai varians yang tinggi menunjukkan bahwa data gelombang memiliki banyak fluktuasi atau variasi, dan tingkat konsistensinya relatif rendah (Cornett, 2008). Teluk Jakarta yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Laut Jawa sebagai *inner sea* perairan Indonesia, termasuk kedalam perairan yang cukup variatif memiliki tingkat signifikan fluktuasi gelombang yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan terbuka seperti Samudra Hindia, Samudra Pasifik bagian barat, dan Laut Cina Selatan (Habibie dan Fitria *et al.*, 2019).

Arah gelombang selama periode 2012 – 2021 dapat dijelaskan bahwa pada Stasiun – 01, arah dominan gelombang



Gambar 6. Diagram Mawar Gelombang di Stasiun-01 sd. Stasiun-04 Tahun 2012 – 2021; (a,d,g,j) Gelombang Signifikan; (b,e,h,k) Gelombang Alun; (c,f,i,l) Gelombang Angin
 Figure 6. Wave Rose Diagram at Station-02 to Station-04 for 2012 – 2021; (a,d,g,j) Significant Wave; (b,e,h,k) Swell; (c,f,i,l) Wind Wave
 Sumber: Hasil Pengolahan

signifikan dan gelombang alun datang dari Timur Laut, sedangkan arah dominan gelombang angin dari Barat Daya dan variasi dominannya dari arah Barat. Stasiun – 02 memiliki karakteristik tidak jauh berbeda dengan Stasiun – 01, yaitu arah gelombang signifikan dan gelombang alun datang dari Timur Laut. Sedangkan arah dominan gelombang angin dominan datang dari arah Barat dengan variasi dominannya dari arah Timur, Timur Laut dan Barat Laut. Sementara pada Stasiun – 03, arah datang gelombang signifikan dan gelombang alun dari arah Timur dengan variasi dominan dari Barat Daya. Untuk

gelombang angin, arah dominan datangnya gelombang dari Timur dan terdapat arah rambatan lainnya dengan dominasi dari arah Barat Daya. Karakteristik arah datangnya gelombang pada Stasiun – 04 memiliki kemiripan dengan Stasiun – 03, yaitu gelombang signifikan dan gelombang alun datang dari arah Timur dengan arah gelombang angin yang terjadi didominasi dari arah Timur. Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 merupakan lokasi observasi virtual dimana lokasinya tidak jauh dari pantai, sedangkan lokasi Stasiun – 03 dan Stasiun – 04 berada jauh dari pantai. Lokasi Stasiun – 03 dan

Stasiun – 04 merupakan area yang lebih terbuka, arah dan durasi angin akan lebih bebas menyentuh muka laut sehingga dominasi arah dan ketinggian gelombang lebih terlihat. Tinggi dan arah gelombang secara grafik ditampilkan melalui diagram mawar gelombang, dapat dilihat pada Gambar 6.

Karakteristik gelombang di Teluk Jakarta pada periode Musim Barat yang terjadi di bulan Desember – Januari – Februari (DJF), dapat dijelaskan bahwa rata-rata tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,14 – 0,39 meter dengan tinggi gelombang minimum terjadi di Stasiun – 01 setinggi 0,01 meter dan tinggi gelombang maksimumnya mencapai 1,88 meter yang terjadi di Stasiun - 03. Hal ini memiliki relevansi dengan hasil penelitian Wicaksana *et al.* (2015) bahwa signifikan gelombang di Teluk Jakarta terjadi pada Musim Barat, puncaknya di bulan Januari – Februari. Sedangkan gelombang alun memiliki ketinggian rata-rata berkisar antara 0,12 – 0,25 meter. Tinggi minimum gelombang alun 0,00 meter terjadi di Stasiun – 01 dan ketinggian maksimumnya mencapai 1,33 meter di Stasiun – 04. Adapun untuk gelombang angin, rata-rata tinggi gelombangnya berkisar antara 0,03 – 0,23 meter. Ketinggian minimum gelombang angin sama dengan 0,00 meter di semua Stasiun, dan tinggi gelombang maksimum mencapai 1,56 meter di Stasiun – 04.

Pada Musim Peralihan I (Maret – April – Mei (MAM)), rata-rata tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,09 – 0,34 meter dengan tinggi gelombang minimum terjadi di Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 setinggi 0,01 meter serta tinggi gelombang

maksimumnya mencapai 1,63 meter yang terjadi di Stasiun - 04. Sedangkan gelombang alun memiliki ketinggian rata-rata berkisar antara 0,07 – 0,26 meter. Tinggi minimum gelombang alun 0,00 meter terjadi di Stasiun – 02 dan ketinggian maksimumnya mencapai 1,62 meter di Stasiun – 04. Adapun untuk gelombang angin, rata-rata tinggi gelombangnya berkisar antara 0,01 – 0,13 meter. Ketinggian minimum gelombang angin sama dengan 0,00 meter di semua Stasiun, dan tinggi gelombang maksimum mencapai 1,41 meter di Stasiun – 04.

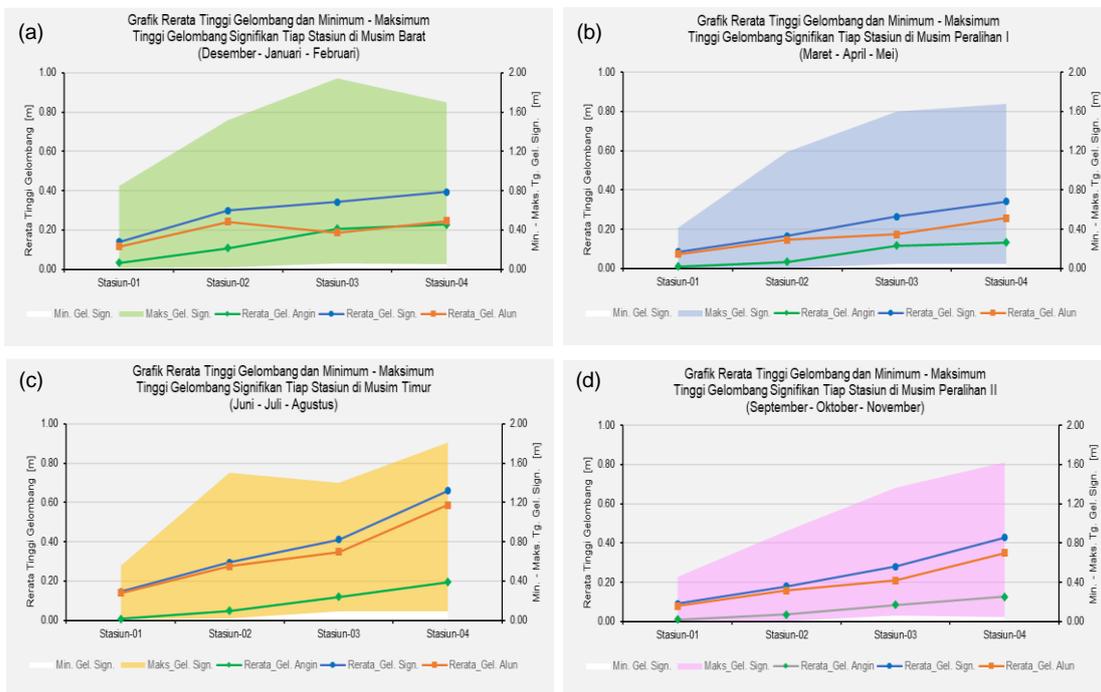
Pada Musim Timur (Juni – Juli – Agustus (JJA)) rata-rata tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,15 – 0,66 meter dengan tinggi gelombang minimum terjadi di Stasiun – 01 setinggi 0,01 meter dan tinggi gelombang maksimumnya mencapai 1,72 meter yang terjadi di Stasiun - 04. Untuk gelombang alun memiliki ketinggian rata-rata antara 0,14 – 0,59 meter. Tinggi minimum gelombang alun 0,01 meter terjadi di Stasiun 01 dan Stasiun – 02 dan ketinggian maksimumnya mencapai 1,71 meter di Stasiun – 04. Adapun untuk gelombang angin, rata-rata tinggi gelombangnya berkisar antara 0,01 – 0,19 meter. Ketinggian minimum gelombang angin sama dengan 0,00 meter di semua Stasiun, dan tinggi gelombang maksimum mencapai 1,40 meter di Stasiun – 04.

Musim Peralihan II bulan September – Oktober – November (SON) rata-rata tinggi gelombang signifikan berkisar antara 0,09 – 0,43 meter dengan tinggi gelombang minimum terjadi di Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 setinggi 0,01 meter serta tinggi gelombang maksimumnya mencapai 1,57 meter terjadi di Stasiun - 04. Untuk

gelombang alun memiliki ketinggian rata-rata antara 0,08 – 0,35 meter. Tinggi minimum gelombang alun 0,00 meter terjadi di Stasiun – 01, sedangkan tinggi gelombang maksimumnya mencapai 1,41 meter di Stasiun – 04. Untuk gelombang angin, rata-rata tinggi gelombang berkisar antara 0,01 – 0,13 meter. Ketinggian minimum gelombang angin adalah 0,00 meter di semua Stasiun, dan tinggi gelombang maksimum mencapai 1,53 meter di Stasiun – 04. Secara garis besar, karakteristik tinggi gelombang dapat dilihat pada Gambar 7.

Berdasarkan hasil pengolahan, periode bulanan tinggi gelombang di Teluk Jakarta adalah tinggi gelombang minimum sama dengan 0,00 meter untuk gelombang alun dan gelombang angin. Nilai minimum

tinggi Gelombang signifikan adalah 0,01 meter dan nilai maksimum tinggi gelombang signifikan mencapai 1,88 meter di bulan Februari. Sedangkan tinggi rata-rata gelombang signifikan terendah terjadi di bulan April, dan tertinggi terjadi di bulan Agustus sebesar 1,88 meter. Untuk gelombang alun, tinggi gelombang terendah adalah 0,00 meter terjadi di bulan Oktober, November, Desember Januari, dan Mei. Tinggi maksimal dari gelombang alun adalah 1,71 meter, terjadi di bulan Juni. Gelombang angin bulanan yang terjadi di Teluk Jakarta dengan nilai minimal ketinggian 0,00 meter terjadi di semua bulan, ketinggian maksimumnya mencapai 1,55 meter pada bulan Desember. Hasil rekapitulasi gelombang bulanan ini disajikan sesuai Tabel 4 dan Gambar 8.

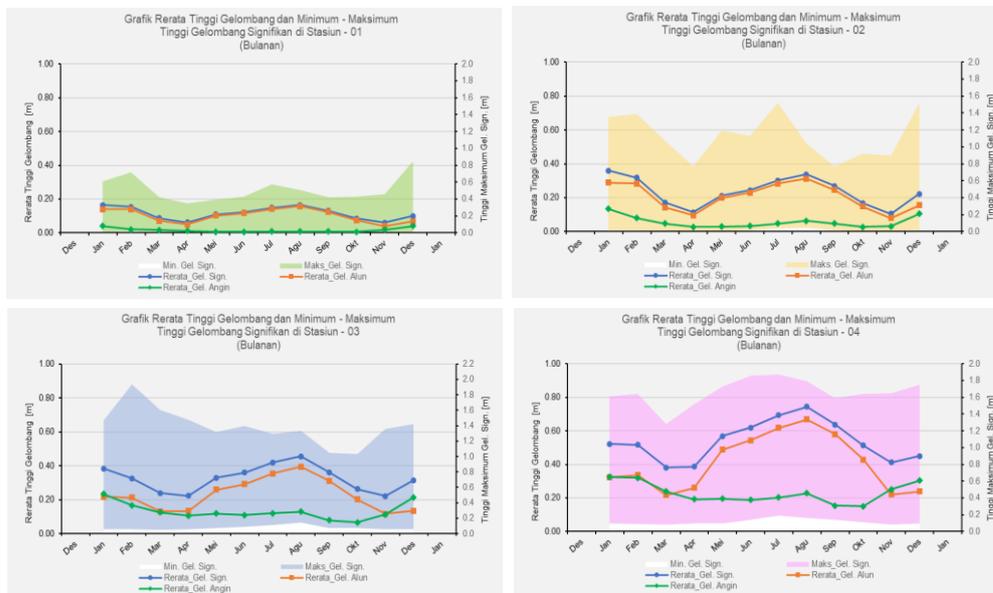


Gambar 7. Grafik Tinggi Gelombang Tiap Stasiun (Musiman)
 (a) Musim barat; (b) Musim Peralihan I; (c) Musim Timur (d) Musim Peralihan II
 Figure 7. Wave Height Graph for Each Station (Seasonal)
 (a) West Season; (b) Transition Season I; (c) East Season (d) Transition Season II
 Sumber: hasil pengolahan

Tabel 4. Rata-rata, Min.-Maks. Tinggi Gelombang Signifikan, Alun dan Gelombang Angin Tiap Stasiun

Table 4. The Average, Min-Max Significant Wave Height, Swell and Wind Waves for Each Station

Bulan	Tg. Gel. Signifikan (Bulanan)			Tg. Gel. Alun (Bulanan)			Tg. Gel. Angin (Bulanan)		
	Min.	Rerata	Maks.	Min.	Rerata	Maks.	Min.	Rerata	Maks.
Januari	0,01	0,36	1,51	0,00	0,24	1,20	0,00	0,18	1,36
Februari	0,02	0,33	1,88	0,01	0,24	1,39	0,00	0,15	1,42
Maret	0,01	0,22	1,55	0,01	0,14	1,51	0,00	0,11	1,02
April	0,01	0,20	1,42	0,01	0,13	1,02	0,00	0,08	1,41
Mei	0,01	0,30	1,63	0,00	0,26	1,62	0,00	0,09	1,37
Juni	0,01	0,34	1,72	0,01	0,30	1,71	0,00	0,08	1,31
Juli	0,02	0,39	1,68	0,01	0,35	1,68	0,00	0,09	1,35
Agustus	0,02	0,43	1,63	0,01	0,38	1,53	0,00	0,11	1,40
September	0,01	0,35	1,45	0,01	0,31	1,41	0,00	0,07	1,14
Oktober	0,01	0,26	1,53	0,00	0,21	1,39	0,00	0,06	1,21
November	0,01	0,20	1,57	0,00	0,11	0,99	0,00	0,10	1,53
Desember	0,01	0,27	1,65	0,00	0,15	1,26	0,00	0,17	1,55



Gambar 8. Grafik Rerata Tinggi Gelombang, Tinggi Gelombang Minimum dan Maksimum Tiap Stasiun (Bulanan). (a) Stasiun - 01; (b) Stasiun - 02; (c) Stasiun - 03; (d) Stasiun - 04.

Figure 8. Graph of Average Wave Height, Minimum and Maximum Wave Height for Each Station (Monthly). (a) Stasiun - 01; (b) Stasiun - 02; (c) Stasiun - 03; (d) Stasiun - 04.

Sumber: hasil pengolahan

Regresi atau peramalan merupakan teknik statistik (*analysis tools*) hubungan untuk meramalkan atau memprediksikan nilai suatu variabel terhadap variabel lain melalui persamaan garis (regresi) (Musbahuddin dan Hasan, 2013). Untuk menentukan hubungan regresi yang tepat

diperlukan pengujian variabel-variabel data. Hasil uji regresi yang dianggap paling tepat (*fit model*) pada penelitian ini adalah menggunakan regresi linear kuadratik. Regresi linear berganda (*multiple regression*) dihitung untuk menentukan seberapa jauh variabel tinggi gelombang

signifikan (X1), tinggi gelombang alun (X2), dan tinggi gelombang angin (X3) mempengaruhi variabel kecepatan hanyut gelombang (Y), sehingga diperoleh koefisien determinasi (R^2). Data hasil pengolahan regresi berupa nilai koefisien determinasi disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Berdasarkan rekapitulasi koefisien determinasi di setiap stasiun pada Tabel 5 dan Tabel 6 diketahui bahwa variabel kecepatan hanyut gelombang dapat dijelaskan oleh tinggi gelombang signifikan, tinggi gelombang alun dan tinggi gelombang angin. Prosentase penjelasan variabel gelombang terhadap kecepatan hanyut gelombang periode 10 tahun berkisar antara 84 % – 96 %, sisanya

dipengaruhi oleh faktor lain. Untuk periode musiman, penjelasan tinggi gelombang terhadap kecepatan hanyutnya berada pada kisaran 81 % - 98 %, sedangkan periode bulanan berkisar antara 72 % - 97 %, sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Stasiun – 03 dan Stasiun – 04, memiliki nilai koefisien determinasi 0,94 – 0,98, yang artinya pada stasiun-stasiun ini sangat jelas terdapat pengaruh tinggi gelombang terhadap kecepatan hanyutnya. Sedangkan Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 nilai koefisien determinasinya berkisar antara 0,72 – 0,96, dapat dikatakan bahwa pada Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 memiliki jangkauan yg lebih lebar dibanding dengan Stasiun – 03 dan Stasiun – 04. Hal ini berarti, pengaruh faktor lain cukup dominan dan bervariasi di

Tabel 5. Koefisien Determinasi Kecepatan Hanyut Gelombang Terhadap Tinggi Gel. Signifikan, Gel. Alun dan Gel. Angin (Periode 10 tahun dan Musiman)

Table 5. Determination Coefficient of Surface Stokes Drift Versus Significant Wave, Swell and Wind Wave Height (10 year period and Seasonal)

No.	Nama Stasiun	Koefisien Determinasi [R^2]				
		2012-2021	Barat	Peralihan I	Timur	Peralihan II
1	Stasiun-01	0,84	0,87	0,81	0,81	0,84
2	Stasiun-02	0,93	0,96	0,91	0,90	0,91
3	Stasiun-03	0,96	0,97	0,95	0,96	0,95
4	Stasiun-04	0,96	0,98	0,96	0,96	0,95

Tabel 6. Koefisien Determinasi Kecepatan Hanyut Gelombang Terhadap Tinggi Gel. Signifikan, Gel. Alun dan Gel. Angin (Periode Bulanan Tahun 2012 - 2021)

Table 6. Determination Coefficient of Surface Stokes Drift Versus Significant Wave, Swell and Wind Wave Height (monthly)

No.	Bulan	Koefisien Determinasi [R^2]			
		Stasiun-01	Stasiun-02	Stasiun-03	Stasiun-04
1	Januari	0,89	0,95	0,96	0,97
2	Februari	0,86	0,95	0,96	0,96
3	Maret	0,85	0,93	0,96	0,95
4	April	0,83	0,92	0,96	0,95
5	Mei	0,72	0,86	0,95	0,95
6	Juni	0,78	0,88	0,95	0,95
7	Juli	0,85	0,90	0,95	0,96
8	Agustus	0,78	0,91	0,96	0,97
9	September	0,79	0,90	0,94	0,95
10	Oktober	0,81	0,86	0,94	0,94
11	November	0,89	0,93	0,97	0,96
12	Desember	0,88	0,96	0,97	0,97

setiap periode waktu. Nilai minimum koefisien determinasi di Stasiun – 01 dan Stasiun – 02 berkisar antara 0,72 – 0,86 terjadi pada bulan Mei di Musim Peralihan I. Menurut Habibie dan Fitria *et al.* (2019) pada Musim Peralihan I (MAM) disebutkan bahwa koefisien variasi gelombang di perairan Indonesia meningkat dibanding musim sebelumnya terutama di *inner sea* dan Laut Cina Selatan, sehingga kondisi gelombang saat musim ini tidak stabil. Ini terjadi karena arah dan kecepatan angin yang bertiup tidak stabil, cenderung berubah-ubah. Kejadian ini mengakibatkan ketidakstabilan kondisi gelombang yang terbentuk.

Secara statistik, hubungan antara gelombang dengan kecepatan hanyutnya dapat ditentukan melalui metode regresi dan korelasi. Penentuan korelasi dengan tanpa memperhatikan bentuk distribusinya dari data yang banyak (>30) digunakan penghitungan korelasi Spearman, persamaan korelasinya dituliskan sebagai berikut (Sugiyono, 2007; Musbahuddin dan Hasan, 2013):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n^3 - d} \dots\dots\dots 3)$$

dimana,
 r_s = koefisien korelasi *rank*
 d = selisih *rank* antara X (R_x) dan Y (R_y)
 n = banyaknya pasangan *rank*

Kategori hubungan (korelasi) dibagi menjadi 7 (tujuh) klasifikasi, dari mulai kategori “tidak ada hubungan” sampai dengan kategori “sempurna”. Klasifikasi kategori korelasi sesuai dengan Tabel 3 (Musbahuddin dan Hasan, 2013). Selajutnya, seluruh data pada masing-masing stasiun dihitung nilai korelasinya

selama 10 tahun, periode musiman, dan periode bulanan antara gelombang dengan kecepatan hanyutnya. Sedangkan untuk menganalisis arah kecepatan hanyut gelombang terhadap arah gelombang, secara estimasi digunakan diagram mawar gelombang dan diagram mawar kecepatan hanyut gelombang pada masing-masing stasiun. Pada penelitian ini digunakan 16 arah atau 22,5° per segmen arah, sehingga lebih terlihat perbedaan/simpangannya antara arah gelombang dengan arah kecepatan hanyut gelombangnya. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Tuomi *et al.* (2018), analisis menggunakan segmen arah per-15°

Pada tahap selanjutnya dalam menentukan karakteristik kecepatan hanyut gelombang adalah pemilihan pengaruh dan hubungan yang paling tepat terhadap variabel gelombang signifikan, gelombang alun dan gelombang angin di setiap stasiun dalam periode 10 tahun. Selain melalui penentuan regresi, perlu dihitung nilai korelasi Spearman dan nilai deviasi model regresinya (*Residual Standar Error/RSE*). Nilai *residual error* model regresi diperlukan dalam penentuan pilihan antara dua gelombang yang mempunyai nilai regresi/korelasi yang sama. Hasil pengolahan periode 10 tahun di semua stasiun disajikan pada Tabel 8.

Berdasarkan nilai determinasi, korelasi dan RSE dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa selama periode 2012 – 2021 gelombang angin mendapatkan peringkat teratas dalam hubungan dan pengaruhnya terhadap kecepatan hanyut gelombang, khususnya di Stasiun – 03 dan Stasiun – 04. Pada Stasiun – 01, untuk pengaruh gelombang signifikan dianggap

kurang signifikan dibanding pengaruh gelombang angin. Disebut demikian karena model persamaan regresi memiliki RSE yg lebih besar dibanding model regresi gelombang angin. Selain itu nilai

determinasinya hanya mampu menjelaskan sebesar 50% saja, sedangkan pengaruh gelombang angin mencapai 72%, sekalipun nilai korelasi pengaruh gelombang angin di bawah gelombang signifikan. Termasuk situasi di Stasiun – 02, melalui persamaan regresi kuadratik dapat dijelaskan bahwa variabel kecepatan hanyut gelombang dapat dijelaskan dari tinggi gelombang angin sebesar 80% dengan RSE model 0,007. Sedangkan pengaruh gelombang signifikan hanya 69%.

Dengan cara yang sama, hasil yang diperoleh pada periode musiman dapat dinyatakan bahwa kecepatan hanyut gelombang yang terjadi mempunyai

Tabel 7. Klasifikasi Kategori Korelasi
Table 7. Classification of Correlation Categories

No.	Koefisien Korelasi (KK)	Klasifikasi
1	KK = 0,00	Tidak Ada
2	0.00 < KK ≤ 0,20	Sangat Lemah
3	0.20 < KK ≤ 0,40	Lemah
4	0.40 < KK ≤ 0,70	Sedang
5	0.70 < KK ≤ 0,90	Kuat
6	0.90 < KK ≤ 1,00	Sangat Kuat
7	KK = 1,00	Sempurna

Tabel 8. Regresi – Korelasi, RSE Kecepatan Hanyut Gelombang (V_{sd}) Terhadap Tinggi Gelombang Tahun 2012 - 2021
Table 8. Regression – Correlation, RSE of Surface Stokes Drift Velocity (V_{sd}) Versus Wave Height 2012 - 2021

No.	Nama Stasiun	Persamaan Regresi	RSE	R ²	r _s	Interprestasi r _s
1.	Stasiun 01					
	V_{sd} – Gel. Sign.	$Y = - 0,001053 + 0,006453 X + 0,1913 X^2$	0,006	0,50	0,60	Sedang
	V_{sd} – Gel. Alun	$Y = 0,001488 - 0,007502 X + 0,1714 X^2$	0,008	0,18	0,43	Sedang
2.	Stasiun 02					
	V_{sd} – Gel Angin	$Y = 0,001158 + 0,1417 X + 0,06446 X^2$	0,005	0,72	0,52	Sedang
	V_{sd} – Gel. Sign.	$Y = - 0,005105 + 0,06830 X + 0,01751 X^2$	0,009	0,69	0,83	Kuat
3.	Stasiun 03					
	V_{sd} – Gel. Alun	$Y = - 0,000257 + 0,05704 X + 0,01494 X^2$	0,013	0,38	0,68	Sedang
	V_{sd} – Gel Angin	$Y = 0,004229 + 0,1644 X - 0,07021 X^2$	0,007	0,80	0,71	Kuat
4.	Stasiun 04					
	V_{sd} – Gel. Sign.	$Y = - 0,009575 + 0,08820 X + 0,02357 X^2$	0,011	0,75	0,85	Kuat
	V_{sd} – Gel. Alun	$Y = 0,01302 + 0,01755 X + 0,07086 X^2$	0,021	0,15	0,45	Sedang
	V_{sd} – Gel Angin	$Y = 0,004992 + 0,1555 X - 0,06315 X^2$	0,007	0,91	0,88	Kuat
	V_{sd} – Gel. Sign.	$Y = - 0,005846 + 0,07606 X + 0,003640 X^2$	0,014	0,72	0,85	Kuat
	V_{sd} – Gel. Alun	$Y = 0,009649 + 0,05739 X - 0,001971 X^2$	0,023	0,28	0,59	Sedang
	V_{sd} – Gel Angin	$Y = 0,007780 + 0,1599 X - 0,06631 X^2$	0,009	0,89	0,89	Kuat

Keterangan

R² = koefisien determinasi

r_s = korelasi Spearman

RSE = Residual Standard Error/Deviation

Y = kecepatan hanyut gelombang (V_{sd})

X = tinggi gelombang (signifikan, alun, angin)

korelasi yang kuat terhadap tinggi gelombang angin pada semua musim kecuali saat Musim Peralihan II (SON). Lebih dari 79% gelombang angin dapat mempengaruhi kecepatan hanyut gelombang di semua musim dan stasiun. Menurut Purwanto *et al.* (2021) bahwa gelombang angin (*sea*) yang terjadi di perairan *inner sea* Indonesia lebih dominan, berarti gelombang yang terjadi di Teluk Jakarta adalah gelombang angin yang akan lebih dominan terjadi. Dapat dikatakan bahwa korelasi antara tinggi gelombang angin dengan kecepatan hanyutnya akan lebih kuat dibanding dengan gelombang alun. Dengan demikian, untuk mendapatkan nilai estimasi kecepatan hanyut gelombang dapat diperoleh dengan memasukkan nilai tinggi gelombang (angin) ke dalam masing-masing persamaan regresinya. Nilai determinasi (R^2), korelasi Spearman (r_s) dan *RSE* dapat dilihat pada Tabel 9.

Hal yang sama seperti yang dikerjakan pada periode 10 tahun dan musiman, dalam menentukan hubungan antara kecepatan hanyut gelombang dengan tinggi gelombangnya pada periode bulanan ditentukan melalui analisis statistik

persamaan regresi, penghitungan nilai koefisien determinasi, dan korelasi tiap stasiun untuk masing-masing gelombang (signifikan, alun, angin) disetiap bulannya. Sebagai hipotesa awal adalah bahwa tinggi gelombang angin akan menjadi variabel bebas dalam persamaan regresi untuk menentukan kecepatan hanyut gelombang yang terjadi di perairan Teluk Jakarta. Hasil analisis statistik data gelombang dan kecepatan hanyutnya dapat dilihat pada Tabel 10 dan Gambar 9.

Berdasarkan Tabel 10 dan Grafik 9, dapat disebutkan bahwa tampak jelas gelombang angin mendominasi pengaruhnya terhadap kecepatan hanyut gelombang. *RSE* dari model persamaan regresinya, gelombang angin memiliki residu yang terkecil, demikian pula untuk koefisien determinasi gelombang angin adalah yang terbesar dengan yang lainnya. Dengan demikian, periode tahun 2012 - 2021, musiman dan bulanan di teluk jakarta dipengaruhi kuat oleh gelombang angin.

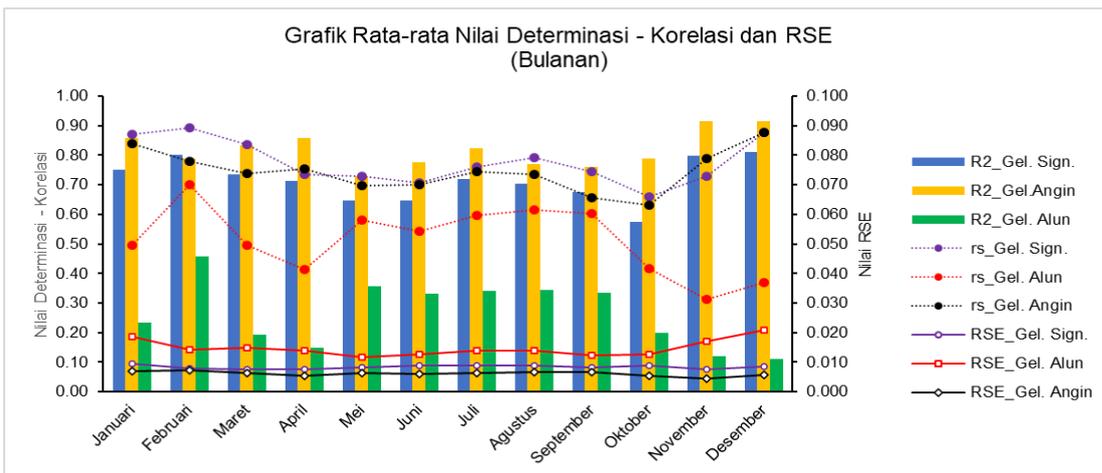
Melalui penghitungan statistik, kecepatan hanyut gelombang di Teluk Jakarta selama periode 2012 – 2021 menunjukkan bahwa kecepatan minimum

Tabel 9. Regresi – Korelasi, *RSE* Kecepatan Hanyut Gelombang (V_{sd}) Terhadap Tinggi Gelombang Periode Musiman
Table 9. Regression – Correlation, RSE Surface Stokes Drift Velocity (V_{sd}) Versus Wave Height in Seasonal Periods

Rata-rata V_{sd} - Tinggi Gelombang (Musim Barat)					Rata-rata V_{sd} - Tinggi Gelombang (Musim Timur)				
Gelombang	RSE	R^2	r_s	Interprestasi r_s	Gelombang	RSE	R^2	r_s	Interprestasi r_s
Gel. Signifikan	0,009	0,78	0,89	Kuat	Gel. Signifikan	0,009	0,70	0,77	Kuat
Gel. Alun	0,019	0,28	0,59	Sedang	Gel. Alun	0,014	0,36	0,62	Sedang
Gel. Angin	0,007	0,86	0,82	Kuat	Gel. Angin	0,007	0,79	0,72	Kuat
Rata-rata V_{sd} - Tinggi Gelombang (Musim Peralihan I)					Rata-rata V_{sd} - Tinggi Gelombang (Musim Peralihan II)				
Gelombang	RSE	R^2	r_s	Interprestasi r_s	Gelombang	RSE	R^2	r_s	Interprestasi r_s
Gel. Signifikan	0,009	0,76	0,77	Kuat	Gel. Signifikan	0,009	0,64	0,73	Kuat
Gel. Alun	0,014	0,25	0,56	Sedang	Gel. Alun	0,015	0,37	0,50	Sedang
Gel. Angin	0,006	0,82	0,72	Kuat	Gel. Angin	0,006	0,82	0,68	Sedang

Tabel 10. Nilai rata-rata Regresi – Korelasi dan RSE Kecepatan Hanyut Gelombang (V_{sd}) Terhadap Tinggi Gelombang Periode Bulanan
 Table 10. Average Value of Regression – Correlation and RSE Surface Stokes Drift Velocity Versus Wave Height Monthly Period

Bulan	V_{sd} - Gel. Signifikan			V_{sd} - Gel. Alun			V_{sd} - Gel. Angin		
	RSE	R^2	r_s	RSE	R^2	r_s	RSE	R^2	r_s
Januari	0,010	0,75	0,87	0,019	0,24	0,50	0,007	0,86	0,84
Februari	0,008	0,80	0,89	0,014	0,46	0,70	0,007	0,79	0,78
Maret	0,008	0,74	0,84	0,015	0,19	0,50	0,006	0,83	0,74
April	0,008	0,71	0,73	0,014	0,15	0,41	0,005	0,86	0,75
Mei	0,008	0,65	0,73	0,012	0,36	0,58	0,006	0,73	0,70
Juni	0,009	0,65	0,71	0,013	0,33	0,54	0,006	0,77	0,70
Juli	0,009	0,72	0,76	0,014	0,34	0,60	0,006	0,82	0,75
Agustus	0,009	0,71	0,79	0,014	0,34	0,62	0,007	0,77	0,74
September	0,008	0,68	0,74	0,012	0,33	0,60	0,007	0,76	0,66
Oktober	0,009	0,57	0,66	0,013	0,20	0,42	0,006	0,79	0,63
November	0,008	0,80	0,73	0,017	0,12	0,31	0,005	0,91	0,79
Desember	0,009	0,81	0,88	0,021	0,11	0,37	0,006	0,91	0,88



Gambar 9. Grafik Rata-rata Nilai Regresi – Korelasi dan RSE (Bulanan).
 Figure 9. The Average of Regression-Correlation and RSE Value (Monthly).
 Sumber: hasil pengolahan

adalah 0,00 m/s dan maksimumnya adalah 0,28 m/s. Sedangkan kecepatan rata-ratanya berkisar antara 0,004 – 0,04 m/s.

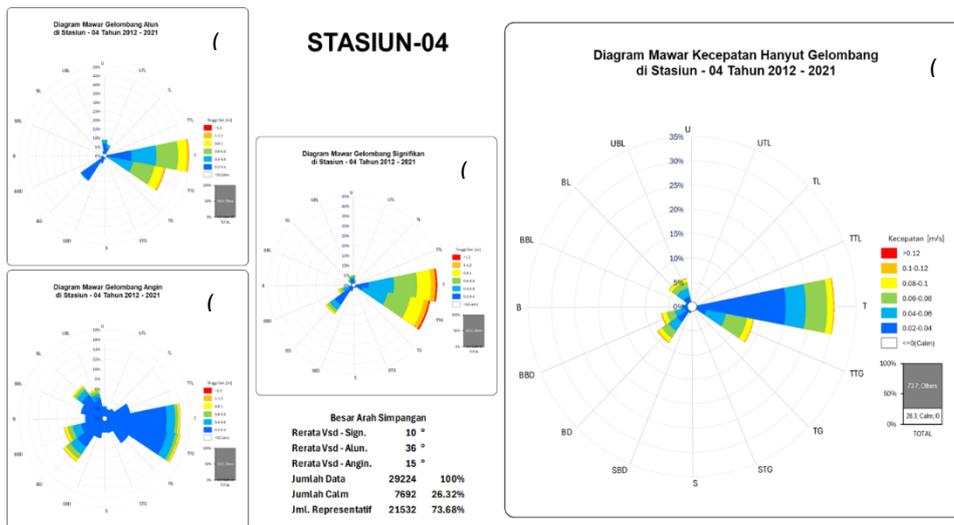
Arah kecepatan hanyut gelombang relatif searah dengan arah rambat gelombang yaitu ke arah barat, namun terdapat simpangan arah yang nilainya bervariasi terhadap masing-masing gelombang. Arah kecepatan hanyut

gelombang terhadap arah gelombang signifikan berkisar antara 8,1° - 9,9°, terhadap gelombang alun antara 16° - 35,6° dan terhadap gelombang angin sebesar 14,8° - 15,2°. Berdasarkan data statistik tersebut, berarti arah kecepatan hanyut gelombang yang nilai simpangannya kecil didapat dari arah gelombang signifikan (lihat Tabel 11 dan Gambar 10).

Tabel 11. Kecepatan Hanyut Gelombang dan Simpangan Arahnya Tiap Stasiun (2012 – 2021)
 Table 11. The Surface Stokes Drift Velocity and Direction Deviation Each Station (2012 – 2021)

Nama Stasiun	Kec. Hanyut Gelombang			Simpangan Arah (°)		
	Min.	Maks.	Rerata	Gel. Sign.	Gel. Alun	Gel. Angin
Stasiun - 01	0,00	0,25	0,004	9,9	35,6	15,1
Stasiun - 02	0,00	0,28	0,01	8,2	16,0	14,8
Stasiun - 03	0,00	0,28	0,02	8,1	30,1	15,2
Stasiun - 04	0,01	0,15	0,04	9,9	35,6	15,1

Sumber: hasil pengolahan



Gambar 10. Visualisasi Perbandingan Diagram Mawar Tinggi Gelombang Alun (a), Tinggi Gelombang Angin (b), Tinggi Gelombang Signifikan (c) dan Kecepatan Hanyut Gelombang (d) di Stasiun - 04

Figure 10. Visualization of Rose Diagram Comparison of Swell Height (a), Wind Wave Height (b) Significant Wave Height (c) and Surface Stokes Drift (d) at Station - 04

Sumber: hasil pengolahan

Rata-rata nilai kecepatan hanyut gelombang dari semua stasiun di Teluk Jakarta dapat dijelaskan dalam periode musiman, bahwa pada Musim Barat kecepatan rata-ratanya 0,023 m/s. Pada Musim Peralihan I rata-rata mencapai angka 0,013 m/s, sedangkan pada Musim Timur rata-rata kecepatan hanyut gelombang mengalami kenaikan 0,019 m/s. Musim Peralihan II rata-rata kecepatan hanyut gelombang 0,012 m/s. Dengan demikian dapat disebutkan bahwa pada periode musiman rata-rata kecepatan

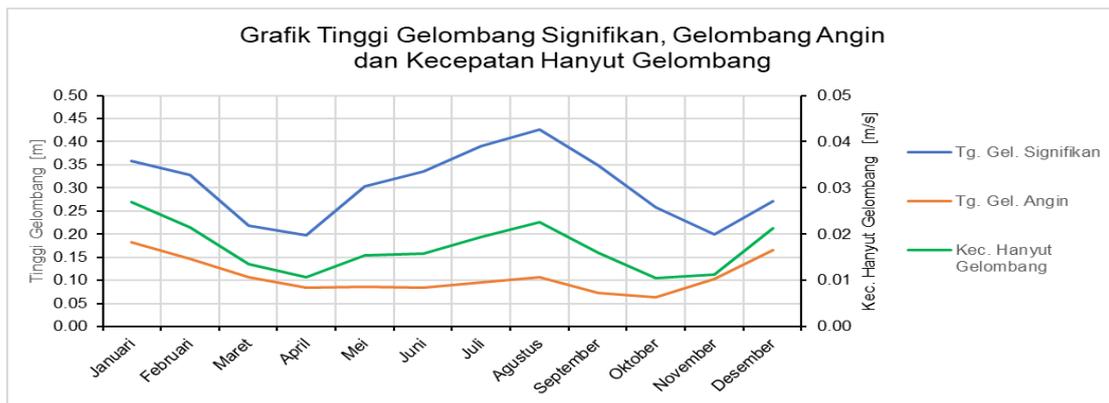
hanyut gelombang berkisar antara 0,012 – 0,023 m/s. Rata-rata simpangan arah pada periode musiman berkisar antara 0,2° s.d. -3,6° terhadap gelombang signifikan, 1,0° s.d. 35,4° terhadap gelombang alun dan -1,9 s.d. -12.6° terhadap gelombang angin. Tanda negatif arah simpangan menyatakan besar nilai simpangan berada di sebelah kiri dari arah gelombang. Sebagai contoh, bila arah gelombang 270° dan arah simpangan kecepatan hanyutnya -5°, maka arah kecepatan hanyut gelombang sama dengan 265°.

Tabel 12. Rata-rata Kecepatan Hanyut Gelombang dan Simpangan Arahnya (Musiman)
 Table 12. The Average Surface Stokes Drift Velocity and Direction Deviation (Seasonal)

Bulan	Kec. Hanyut Gelombang			Simpangan Arah (°)		
	Min.	Maks	Rerata	Gel. Sign.	Gel. Alun	Gel. Angin
Musim Barat	0,00	0,28	0,023	-3,6	35,4	4,9
Musim Peralihan I	0,00	0,28	0,013	0,2	5,9	-1,9
Musim Timur	0,00	0,15	0,019	2,2	4,2	-12,6
Musim Peralihan II	0,00	0,14	0,012	0,5	1,0	-6,2

Tabel 13. Rata-rata Kecepatan Hanyut Gelombang dan Simpangan Arahnya (Bulanan)
 Table 13. The Average Surface Stokes Drift Velocity and Direction Deviation (Monthly)

Bulan	Kec. Hanyut Gelombang			Simpangan Arah (°)		
	Min.	Maks	Rerata	Gel. Sign.	Gel. Alun	Gel. Angin
Januari	0,00	0,15	0,027	-6,5	43,9	5,8
Februari	0,00	0,28	0,021	0,4	52,5	6,5
Maret	0,00	0,19	0,014	-0,9	13,7	2,4
April	0,00	0,16	0,011	-0,4	0,2	-1,0
Mei	0,00	0,28	0,015	1,8	3,7	-7,1
Juni	0,00	0,15	0,016	2,1	4,0	-9,4
Juli	0,00	0,12	0,019	2,8	5,1	-13,9
Agustus	0,00	0,12	0,023	1,8	3,5	-14,5
September	0,00	0,11	0,016	1,5	3,1	-12,9
Oktober	0,00	0,11	0,011	0,6	1,6	-5,9
November	0,00	0,14	0,011	-0,7	-1,6	0,7
Desember	0,00	0,25	0,021	-4,4	11,3	2,5



Gambar 11. Grafik Rata-rata Tinggi Gelombang Signifikan, Gelombang Angin dan Kecepatan Hanyut Gelombang (Bulanan).

Figure 11. Graph of Average Significant Wave Height, Wind Waves and Surface Stokes Drift Velocity (Monthly).

Sumber: hasil pengolahan

Berdasarkan hasil analisis statistik disebutkan bahwa arah kecepatan hanyut

gelombang memiliki nilai simpangan arah yang minimum dari arah gelombang

signifikannya dibandingkan dengan arah yang diperoleh dari gelombang alun dan gelombang angin. Hasil pengolahan data rata-rata kecepatan hanyut gelombang musiman di Teluk Jakarta dapat dilihat dalam Tabel 12.

Karakteristik kecepatan hanyut gelombang periode bulanan dapat disebutkan bahwa kecepatan minimum 0,00 m/s terjadi di semua bulan, sedangkan kecepatan maksimumnya sebesar 0,28 m/s dan rata-rata berkisar 0,011 – 0,027 m/s. Nilai rata-rata terbesar terjadi di bulan Januari dengan kecepatan hanyut gelombang sebesar 0,027 m/s, sedangkan rata-rata terkecilnya jatuh di bulan Oktober. Rata-rata simpangan arah terbesar dari gelombang signifikan terjadi di bulan Januari sebesar $-6,5^\circ$, terhadap gelombang alun terjadi di bulan Februari dengan nilai $52,5^\circ$ dan terhadap gelombang angin sebesar $-14,5^\circ$ di bulan Agustus (Tabel 13).

Dengan demikian, kecepatan hanyut gelombang di teluk Jakarta pada periode bulanan dapat dijelaskan bahwa pada bulan Januari, Agustus dan Desember mengalami kenaikan kecepatan. Hal ini sejalan dengan tinggi gelombang signifikan saat bulan Januari-Februari, Agustus mencapai maksimum. Pada bulan-bulan lainnya terjadi variasi penurunan kecepatan hanyut gelombang. Apabila dilihat secara grafis, pola kecepatan hanyut gelombang relatif lebih mengikuti pola tinggi gelombang signifikan dibandingkan mengikuti pola tinggi gelombang angin.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penghitungan dan analisis statistik, bahwa kecepatan hanyut gelombang di Teluk Jakarta dipengaruhi oleh tinggi gelombangnya, bervariasi secara spasial dan temporal. Kecepatan hanyut gelombang memiliki nilai korelasi, dan determinasi yang positif kuat terhadap tinggi gelombang angin (*wind wave*). Pada area yang terbuka di perairan Teluk Jakarta, regresi dan korelasi semakin kuat antara tinggi gelombang terhadap kecepatan hanyut gelombangnya. Semakin tinggi gelombang maka akan menambah kecepatan hanyut gelombangnya. Selama periode 10 tahun (2012 – 2021) diperoleh bahwa rata-rata kecepatan hanyut gelombang adalah 0,004 – 0,04 m/s, dengan nilai rata-rata simpangan arah dari arah gelombang signifikan $8,1^\circ$ – $9,9^\circ$. Kecepatan rata-rata musiman berkisar antara 0,012 – 0,023 m/s dengan rata-rata simpangan arah dari arah gelombang signifikan berkisar antara $0,2^\circ$ s.d. $-3,6^\circ$. Sedangkan bulannya, rata-rata kecepatan hanyut gelombang bernilai 0,011 – 0,027 m/s. Untuk rata-rata simpangan arah dari arah gelombang signifikan (total gelombang signifikan) berkisar antara $0,4^\circ$ s.d. $-6,5^\circ$.

Penelitian ini berhasil menentukan karakteristik sehingga dapat diketahui kecepatan hanyut gelombang dari data model global gelombang, arah dan kecepatan hanyut gelombang di Teluk Jakarta. Data dan informasi ini dapat dijadikan salah satu gambaran/referensi dalam oseanografi operasional. Untuk melengkapi hasil penelitian ini diperlukan pengujian di lapangan, saat ini belum dilaksanakan observasi di lapangan dan

akan dilaksanakan pada penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dosen Ilmu Kebumihan Lanjutan atas bimbingan, saran dan masukannya dan *Marine Copernicus* atas akses data yang diberikan dalam penyusunan penelitian. Tak lupa kami ucapkan terima kasih juga kepada Kaprodi S2 beserta seluruh Staf Prodi Oseanografi yang telah memberikan fasilitas belajar, dan kepada rekan-rekan Mahasiswa S2 Prodi Oseanografi STTAL Angkatan XI serta semua pihak yang telah berperan membantu dalam proses penelitian dan penyusunan naskah ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Breivik, Ø., Bidlot, J. R., & Janssen, P. A. E. M. (2016). A Stokes drift approximation based on the Phillips spectrum. *Ocean Modelling*, 100, 49–56.
<https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.01.005>
- Cornett, A., & Cornett, A. M. (2008). *A Global Wave Energy Resource Assessment*. Proceeding International Offshore and Polar Engineering Conference, Vancouver-Canada: July 2008. Paper No. ISOPE-2008-TPC579.
<https://www.researchgate.net/publication/259623644>
- Dahnur, H. (2023). regional.kompas.com. Cerita Nelayan dari Jakarta Hanyut 4 Hari di Laut dan Ditemukan Selamat di Bangka. Diakses: 11 September 2023, dari:
<https://regional.kompas.com/read/2023/09/11/072714978/>
- Habibie, M. N., & Fitria, W. (2019). Kajian Indeks Variabilitas Tinggi Gelombang Signifikan di Indonesia. *Jurnal Segara*, 14(3), 159-168.
<https://doi.org/10.15578/segara.v14i3.6650>
- Hidayati, N. (2017). *Dinamika Pantai*. UB Press: Malang.
- Indiyono, P. (2010). *Hidrodinamika Dasar Bangunan Laut*. ITS Press: Surabaya
- Liu, Q., Babanin, A. V., Rogers, W. E., Zieger, S., Young, I. R., Bidlot, J. R., Durrant, T., Ewans, K., Guan, C., Kirezci, C., Lemos, G., MacHutchon, K., Moon, I. J., Rapizo, H., Ribal, A., Semedo, A., & Wang, J. (2021). Global Wave Hindcasts Using the Observation-Based Source Terms: Description and Validation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 13(8).
<https://doi.org/10.1029/2021MS002493>
- Meitayusni Nabila, N., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2020). Studi Karakteristik Gelombang Perairan Laut Jawa Menggunakan Satelit Altimetri Tahun 2016-2018 (Studi Kasus: Perairan Laut Utara Jawa). *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 9, Issue 1), 67-76.

- <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26072>
- Misbahuddin & Hasan, I. (2013). Analisis Data Penelitian dengan Statistik (Edisi ke-2). Bumi Aksara: Jakarta.
- Mustikasari, E., Rustam, A., Lesmana Salim, H., Yoga Nugroho, D., Heriati, A., & Kadarwati, U. R. (2019). Karakteristik Fisis Air Laut Dan Dinamika Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Riset Jakarta*, 12(2), 89-98. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v12i2>
- Nabila, N.M., Sasmito, B., & Sukmono, A. (2020). Studi Karakteristik Gelombang Perairan Laut Jawa Menggunakan Satelit Altimetri Tahun 2016-2018 (Studi Kasus: Perairan Laut Utara Jawa). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(1), 67-76. <https://doi.org/10.14710/jgundip.2020.26072>
- Nieto-Reyes, A. (2021). On the non-gaussianity of the height of sea waves. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), 14-46. <https://doi.org/10.3390/jmse9121446>
- Nugraheni, N. A. (2023). Hari Ini 2 Tahun Lalu, Kecelakaan Pesawat Sriwijaya Air SJ-182 Renggut 62 Korban Jiwa. Diakses: 11 September 2023, dari: <https://nasional.tempo.co/read/1678201/>
- Purwanto, Sugianto, D. N., Zainuri, M., Permatasari, G., Atmodjo, W., Rochaddi, B., Ismanto, A., Wetchayont, P., & Wirasatriya, A. (2021). Seasonal Variability of Waves Within the Indonesian Seas and Its Relation with the Monsoon Wind. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(3), 189–196. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.26.3.189-196>
- Risandi, J., S, W., & D, C. (2021). Prediksi Gelombang Ekstrim di Kepulauan Seribu untuk Aplikasi Kelautan dan Perikanan. *Jurnal Riset Jakarta*, 14(2), 51-56. <https://doi.org/10.37439/jurnaldrd.v14i2.49>
- Schlitzer, R. (2022). *Ocean Data View User's Guide Acknowledgements*. <https://odv.awi.de>,
- Siregar, S. N., Sari, L. P., Purba, N. P., Pranowo, W. S., & Syamsuddin, M. L. (2017). Pertukaran massa air di Laut Jawa terhadap periodisitas monsun dan Arlindo pada tahun 2015. *Depik*, 6(1), 44–59. <https://doi.org/10.13170/depik.6.1.5523>
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to Physical Oceanography*. Texas: Texas A & M University.
- Sugiyono (2007). *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfa Beta Bandung.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

Tuomi, L., Vähä-Piikkiö, O., Alenius, P., Björkqvist, J. V., & Kahma, K. K. (2018). Surface Stokes drift in the Baltic Sea based on modelled wave spectra. *Ocean Dynamics*, 68(1), 17–33. <https://doi.org/10.1007/s10236-017-1115-7>

van den Bremer, T. S., & Breivik. (2018). Stokes drift. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 376, Issue 2111). Royal Society Publishing. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0104>

Wicaksana, S., Sofian, I., Pranowo, W., Rita Tisiana Dwi Kuswardani, A., Nahwanto Budi Sukoco (2015). *Karakteristik Gelombang Signifikan di Selat Karimata Dan Laut Jawa Berdasarkan Rerata Angin 9 Tahunan (2005-2013)*. *Omni Akuatika*, 11(2), 33–40. <https://www.omniakuatika.net/index.php/journals/viewdownload/30/110>

Wyrski, K. (1961). *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. Naga Report Volume 2 Scientific Results. California: University of California.