



FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung



KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA: MITIGASI BENCANA DAN POTENSI SUMBER ENERGINYA

Profesor Nining Sari Ningsih
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian
Institut Teknologi Bandung

**Aula Barat ITB
17 September 2022**

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
17 September 2022

Profesor Nining Sari Ningsih

**KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT
DI PERAIRAN INDONESIA: MITIGASI BENCANA
DAN POTENSI SUMBER ENERGINYA**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA:
MITIGASI BENCANA DAN POTENSI SUMBER ENERGINYA
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 17 September 2022.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis

Prof. Nining Sari Ningsih

KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA:
MITIGASI BENCANA DAN POTENSI SUMBER ENERGINYA
Disunting oleh Prof. Nining Sari Ningsih

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2022

viii+72 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-6624-61-1

1. Oseanografi 1. Prof. Nining Sari Ningsih

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penghargaan, rasa hormat, serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar (FGB) Institut Teknologi Bandung, atas perkenannya untuk menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka FGB ITB, tanggal 17 September 2022.

Orasi ilmiah ini berjudul “Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Indonesia: Mitigasi Bencana dan Potensi Sumber Energinya”. Dalam orasi ilmiah ini penulis menyampaikan pentingnya salah satu topik di bidang Oseanografi, yaitu gelombang laut. Pemahaman karakteristiknya di perairan Indonesia tidak hanya penting untuk manajemen risiko dan mitigasi bencananya, namun juga penting dari segi potensi energinya sebagai sumber energi baru dan terbarukan dan relevan dengan ketahanan energi nasional.

Pembuatan naskah orasi ilmiah ini merupakan salah satu bentuk pertanggungjawaban akademik atas jabatan Guru Besar dalam bidang Oseanografi Fisika. Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan di bidang kelautan dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 17 September 2022

Prof. Dr. Eng. Nining Sari Ningsih, M.S.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
SINOPSIS	vii
1. PENDAHULUAN	1
2. IKLIM GELOMBANG	7
2.1 Dispersi Data Gelombang	11
2.2 Peluang Kejadian Gelombang Tinggi ($SWH \geq 2$ m) di setiap WPP	14
3. PENGARUH SIKLON TROPIS TERHADAP KEJADIAN GELOMBANG TINGGI	15
4. KARAKTERISTIK TINGGI GELOMBANG LAUT DI ALUR LAUT KEPULAUAN INDONESIA DAN <i>SEA LANE OF</i> <i>COMMUNICATION MALACA</i>	21
5. POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA	25
5.1. Parameter untuk Penentuan Lokasi Pemasangan WEC	25
5.1.1. <i>Coefficient of Variation</i>	25
5.1.2. <i>Optimum Hotspot Identifier</i>	26
5.1.3. <i>Wave Development Index</i>	27
5.2. Analisis Lokasi Pemasangan WEC Paling Potensial di Perairan Indonesia	28

6. PEMANFAATAN <i>DATA SCIENCE</i> UNTUK MITIGASI DAN ADAPTASI KEJADIAN GELOMBANG TINGGI	33
7. PENUTUP	38
8. UCAPAN TERIMA KASIH	39
DAFTAR PUSTAKA	42
CURRICULUM VITAE	47

SINOPSIS

Selain ancaman bencana tsunami, perairan Indonesia merupakan daerah yang rentan terkena bencana gelombang tinggi (ekstrem) yang disebabkan gaya pembangkit lainnya seperti angin dan siklon tropis. Indonesia dekat dengan daerah pembentukan dan lintasan siklon tropis baik yang terjadi di perairan sebelah utara dan selatan wilayahnya. Walaupun Indonesia pada umumnya bukan daerah yang secara langsung dilintasi siklon tropis, Indonesia dapat terkena pengaruh secara tidak langsung dari suatu kejadian siklon berupa hujan lebat, angin kencang, dan terjangan gelombang badai yang menjalar sebagai alun dari daerah pembentukannya.

Pemahaman karakteristik tinggi gelombang laut memiliki peranan sangat penting bagi Indonesia, antara lain untuk menunjang aktivitas pelayaran laut di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP), Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI), dan *Sea Lane of Communication* (SLoC) *Malaca*. Pada naskah ilmiah ini, dibahas analisis karakteristik tinggi gelombang laut yang meliputi iklim gelombang (a.l., dispersi data tinggi gelombang dan peluang kejadian gelombang tinggi), pengaruh siklon tropis terhadap kejadian gelombang tinggi, serta karakteristik tinggi gelombang laut di ALKI dan SLoC *Malaca*.

Informasi variabilitas tinggi gelombang laut baik secara spasial maupun temporal tidak hanya penting untuk pencegahan dan mitigasi bencananya, namun juga penting sebagai pengetahuan dasar dalam

penentuan lokasi yang paling potensial untuk pemasangan konverter energi gelombang laut (*wave energy converter/WEC*). Naskah ilmiah ini juga membahas hasil analisis lokasi pemasangan WEC paling potensial di perairan Indonesia berdasarkan beberapa parameter, yaitu daya gelombang rata-rata, *coefficient of variance*, *optimum hotspot identifier*, *wave development index*, batimetri, dan jarak dari pantai ke lokasi potensial.

Sejalan dengan era revolusi industri 4.0 dan *society* 5.0, serta arahan dari pemerintah terkait tema-tema penelitian yang menjadi prioritas (a.l., pemanfaatan potensi *blue economy* dan pengembangan *digital economy* di sektor kelautan) agar tidak hanya berbasis ilmu pengetahuan tetapi juga berdasarkan perkembangan inovasi dan teknologi, di dalam naskah ilmiah ini disampaikan pula penelitian yang telah dan sedang dikembangkan di Kelompok Keahlian (KK) Oseanografi-ITB dalam bidang pemanfaatan *data science* untuk mitigasi dan adaptasi kejadian gelombang tinggi. Dalam hal ini, penerapan *data science* dilakukan antara lain untuk mempercepat proses prediksi serta meningkatkan efisiensi dan diseminasi hasil penelitian dalam bidang mitigasi bencana laut agar lebih mudah dan cepat untuk diakses. Pemanfaatan *data science* yang telah dan sedang dikembangkan di KK Oseanografi-ITB antara lain adalah: (1) penerapan *machine learning* untuk prediksi tinggi gelombang laut di perairan Indonesia; dan (2) penggunaan *data science* dalam bentuk pembuatan dasbor monitoring agar hasil riset terkait karakteristik gelombang laut lebih cepat, efisien, dan mudah diakses oleh pemangku kebijakan dan masyarakat pengguna.

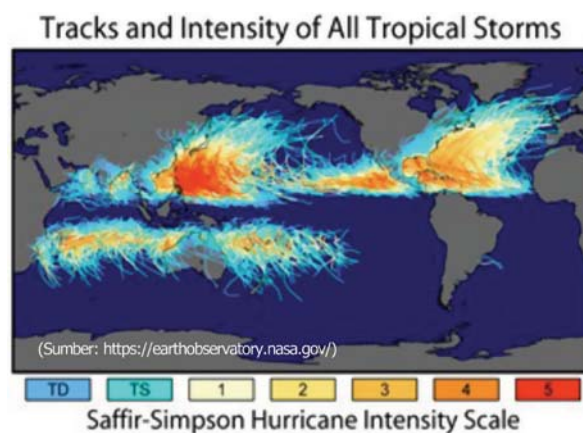
KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA: MITIGASI BENCANA DAN POTENSI SUMBER ENERGINYA

1. PENDAHULUAN

Pemantauan kejadian gelombang tinggi (ekstrem) merupakan satu aspek ilmu oseanografi yang memiliki peranan sangat penting bagi Indonesia, antara lain untuk menunjang pelayaran laut seperti aktivitas perdagangan skala besar yang melalui alur laut kepulauan Indonesia, transportasi (manusia dan barang), dan nelayan. Gelombang laut merupakan penjaralan energi yang ditandai dengan adanya fenomena naik turunnya muka air laut dengan periode dan panjang gelombang tertentu (Holthuijsen, 2007). Gaya pembangkit gelombang laut di antaranya adalah angin, siklon (badai), gempa bumi yang menyebabkan tsunami, dan gaya tarik benda angkasa (terutama matahari dan bulan) yang membangkitkan pasang surut laut astronomis (World Meteorological Organization, 1998). Pada naskah ini, gelombang laut yang dibahas dibatasi pada gelombang yang dibangkitkan angin dan siklon.

Perairan Indonesia merupakan daerah yang rawan terhadap kejadian gelombang tinggi karena posisinya dekat dengan daerah pembangkitan dan lintasan siklon tropis (*tropical cyclones*) yang terjadi di sebelah utara Indonesia (a.l., Teluk Benggala, Laut Andaman, Laut Cina Selatan, dan Samudra Pasifik bagian Barat Daya) dan di sebelah selatan Indonesia (a.l.,

Samudra Hindia Tropis bagian Tenggara yang meliputi perairan utara dan barat laut Australia) (Gambar 1). Pada umumnya, Indonesia bukan daerah yang secara langsung dilintasi siklon tropis, walaupun demikian Indonesia dapat terkena dampak secara tidak langsung dari kejadian badai tersebut dalam bentuk angin kencang, hujan lebat, dan terjangan gelombang badai (*storm surge*) yang menjalar sebagai alun (*swell*) dari daerah pembentukan siklon.



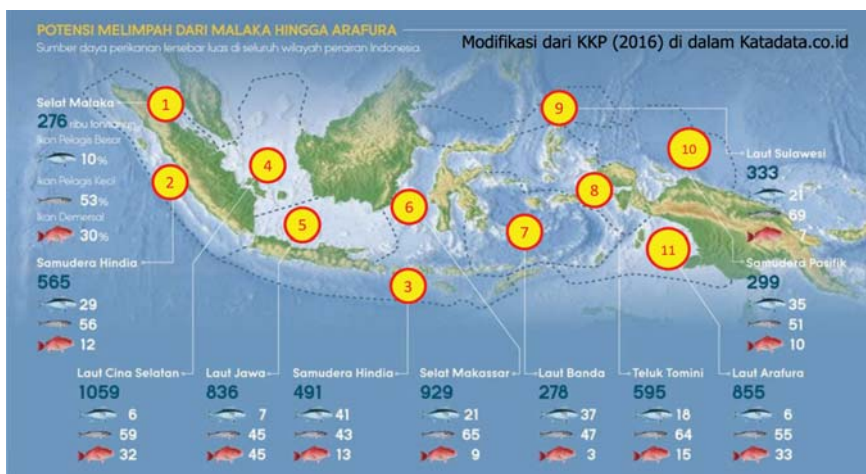
Gambar 1. Distribusi global (lintasan dan intensitas) siklon tropis
(sumber: [https:// earthobservatory.nasa.gov/](https://earthobservatory.nasa.gov/)).

Kejadian gelombang ekstrem di perairan Indonesia yang disebabkan siklon tropis sering kali memicu kecelakaan dan mengakibatkan korban jiwa dan kerugian materi yang tidak sedikit. Sebagai contoh: (1) bencana gelombang ekstrem dengan ketinggian 2-3 m yang menimpa perairan Bawean dan kawasan utara Situbondo di Laut Jawa (Januari 2007) telah mengganggu pelayaran dan menyebabkan beberapa kecelakaan yang menimpa perahu nelayan dan kapal, baik kapal untuk angkutan penumpang, kargo (angkutan barang), maupun kapal servis milik

Pertamina (Dinas Infokom & PDE (SS), 2 Januari 2007); (2) badai Nicholas yang melanda Australia (Maret 2008), imbasnya sampai pula ke perairan utara Jawa, dalam hal ini kabupaten-kabupaten di Karimunjawa, Jepara mengalami krisis pangan karena sulitnya pengiriman pangan yang biasanya menggunakan transportasi laut; dan (3) siklon tropis Seroja (April 2021) yang mulai terbentuk disekitar Laut Sawu, Nusa Tenggara Timur dengan kategori *tropical depression* (TD) bergerak menuju barat daya dan menguat hingga kategori 3 (*Saffir-Simpson scale*) di sekitar barat Australia dengan kecepatan angin maksimum mencapai 120 km/jam. Salah satu dampak yang ditimbulkan siklon ini adalah kecelakaan pelayaran akibat cuaca buruk serta gelombang tinggi, seperti karamnya kapal penumpang KMP Jatra I di Pelabuhan Bolok (Berutu, 2021), hilang dan rusaknya 40 kapal nelayan (Zuraya, 2021), serta hanyutnya dua orang nelayan (Bere, 2021).

Berdasarkan laporan Bakamla dan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) diketahui bahwa dari 165 kejadian kecelakaan kapal di perairan Indonesia dalam kurun waktu 2015-2016, sebanyak 61,21% terjadi pada kapal nelayan (<https://bakamla.go.id/>) dan dalam kurun waktu 2018-2020 terdapat 31% kecelakaan pelayaran yang melibatkan kapal penangkap ikan dari total 245 insiden kecelakaan kapal (<https://kkp.go.id/artikel/39318-langkah-kkp-selamatkan-nelayan-dari-kecelakaan-kapal-ikan> dan <https://ekonomi.bisnis.com/read/20211221/98/1480123/banyak-kapal-penangkap-ikan-mengalami-kecelakaan-knkt-ini-sudah-darurat>).

Informasi kondisi variasi tinggi gelombang laut baik secara spasial maupun temporal penting bagi keselamatan alur pelayaran, khususnya bagi nelayan terkait dengan ukuran panjang dan *gross tonnage* (GT) kapal. Dalam hal ini, GT kapal adalah ukuran yang menunjukkan besarnya volume kapal untuk menampung hasil operasi penangkapan ikan dan semakin besar ukuran GT kapal, maka semakin kuat daya tahannya terhadap terjangan tinggi gelombang.



Gambar 2. Potensi perikanan di 11 WPP NRI
(sumber: modifikasi dari KKP, 2016 di dalam Katadata.co.id).

Untuk memaksimalkan sumber daya perikanan yang ada di perairan Indonesia, pemerintah telah menetapkan pembagian Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) Negara Republik Indonesia (NRI) menjadi 11 wilayah (Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No. 18/Permen-Kp/2014 tentang Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia; Gambar 2). Pengelolaan perikanan

secara lestari dan berkelanjutan dilakukan berdasarkan pada pembagian 11 WPP tersebut. Pembagian dan penomorannya mengacu kepada *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* dan berdasarkan pada ekologi, karakteristik wilayah, serta sumber daya ikan yang tersedia.

Perairan Indonesia yang memiliki batimetri yang sangat kompleks, pola angin yang bervariasi, dan posisinya yang dikelilingi dua samudra (Pasifik dan Hindia) menjadikan tinggi gelombang di 11 WPP NRI memiliki karakteristik yang unik (Ningsih, dkk., 2020a; Rizal dan Ningsih, 2020; Jabbar dan Ningsih, 2020; Rizal, dkk., 2019; Semedo, dkk., 2011; dan Ningsih, dkk., 2000). Analisis data tinggi gelombang dan kecepatan angin yang melingkupi kejadian gelombang ekstrem serta kaitannya dengan kejadian siklon tropis dan Madden-Julian Oscillation (MJO), penyediaan zonasi dan waktu aman pelayaran kapal nelayan, dan ukuran GT kapal yang direkomendasikan untuk berlayar merupakan informasi yang penting di 11 WPP tersebut.

Pemahaman karakteristik gelombang laut di perairan Indonesia, tidak hanya diperlukan untuk manajemen risiko dan mitigasi bencananya, namun juga penting dari segi potensi energinya sebagai sumber energi baru dan terbarukan (EBT) dan memiliki relevansi dengan kebutuhan dan permasalahan bangsa, khususnya terkait dengan ketahanan energi nasional Indonesia.

Potensi EBT Indonesia terbentang secara luas dalam jumlah yang besar mulai dari Sabang hingga Merauke dan juga dari Miangas sampai

Pulau Rote. Dalam hal ini, sumbernya sangat beragam dan tersebar, antara lain energi dari tenaga air, panas bumi, *biofuel* (bahan bakar hayati), biomassa, angin, surya, maupun yang berasal dari laut dan samudra (gelombang, arus, pasang surut, perbedaan suhu lapisan laut/*ocean thermal energy conversion*-OTEC, dan perbedaan kadar garam atau osmosis). Tabel 1 memperlihatkan potensi EBT dari laut dibandingkan dengan beberapa jenis sumber EBT lainnya di Indonesia. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa pemanfaatan (kapasitas terpasang) EBT dari laut di Indonesia masih sangat minim (belum ada yang operasional) jika dibandingkan dengan potensinya.

Tabel 1. Potensi beberapa sumber EBT di Indonesia.

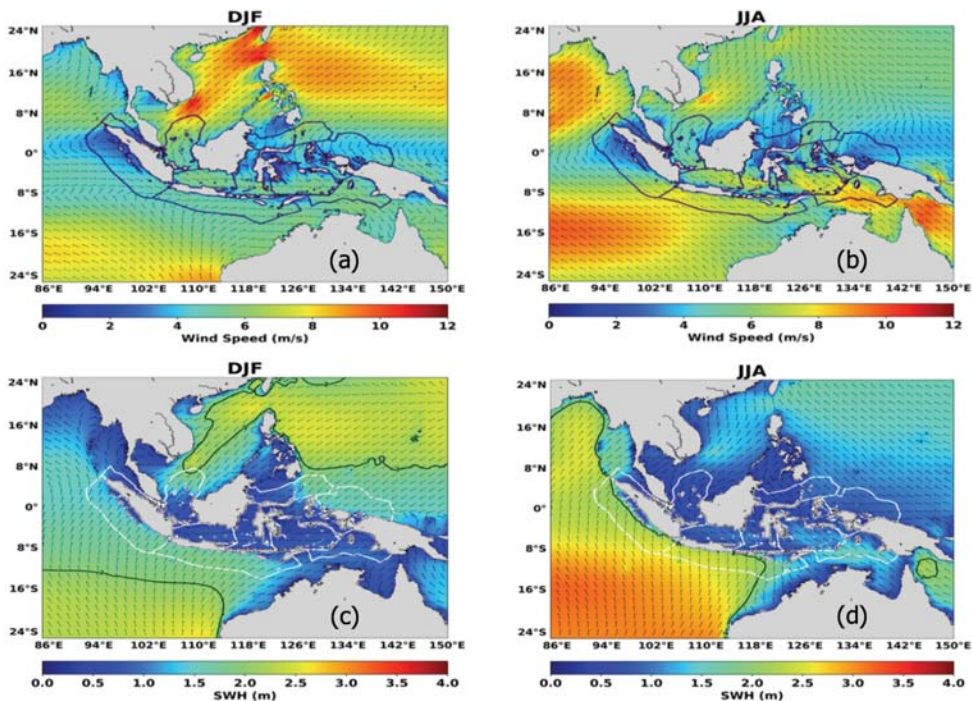
No	Sumber energi	Potensi	Kapasitas terpasang	Sumber
1.	Panas bumi	29.544 MW	1.438,5 MW	BPPT (2018)
2.	Hidro (air)	45.379 MW	8.671 MW	
3.	Biomassa	32.654 Mwe	1.626 Mwe (<i>off grid</i>) 91,1 Mwe (<i>on grid</i>)	
4.	Surya	4,80 kWh/m ² /day	14.006,5 KW	
5.	Angin	970 MW	1,96 MW	
6.	Laut: • Gelombang • OTEC • Pasang surut	• 17.989 MW • 41.012 MW • 4.800 MW	-	

Belum maksimalnya pemanfaatan EBT dari laut di Indonesia, khususnya gelombang dapat disebabkan oleh berbagai kendala, antara lain: sebagian besar komponen utama dari rekayasa dan teknologi pengembangan EBT di Indonesia masih harus diimpor. Hal ini menyebabkan tingginya biaya investasi pembangunan EBT di Indonesia,

sehingga secara ekonomis belum dapat bersaing dengan pemakaian energi fosil. Walaupun demikian, tersedianya data penelitian potensi yang lengkap dan komprehensif dari sumber daya EBT yang berasal dari gelombang laut di setiap wilayah perairan Indonesia merupakan suatu kebutuhan yang perlu senantiasa diupayakan dalam rangka pengembangan dan pemanfaatan energi gelombang laut untuk menuju Indonesia yang berdaulat di bidang energi.

2. IKLIM GELOMBANG

Analisis iklim gelombang penting untuk mengetahui karakteristik rata-rata tinggi dan arah gelombang baik secara spasial maupun temporal. Seperti yang telah disampaikan pada bagian sebelumnya, gelombang laut yang dibahas pada naskah ini dibatasi pada gelombang yang dibangkitkan angin dan siklon. Oleh sebab itu, pada beberapa bagian untuk penguatan analisis, kondisi kecepatan dan arah angin yang bertiup juga diperlihatkan selain siklon. Panjang data angin, gelombang, dan siklon tropis yang digunakan dalam studi ini adalah selama 42 tahun (1979-2020). Data angin dan gelombang bersumber dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) Reanalysis v5 (ERA5)*, sedangkan data kejadian siklon tropis berasal dari *International Best Track Archive for Climate Stewardship (IBTrACS)* yang disediakan oleh *National Centers for Environmental Information (NCEI)* milik *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA-USA)*.



Gambar 3. (a) Iklim angin di wilayah Indonesia pada musim barat (DJF) dan (b) musim timur (JJA); (c) dan (d) masing-masing sama dengan (a) dan (b) tetapi untuk iklim gelombang. Kontur biru (a dan b) dan putih (c dan d) menunjukkan batas WPP NRI.

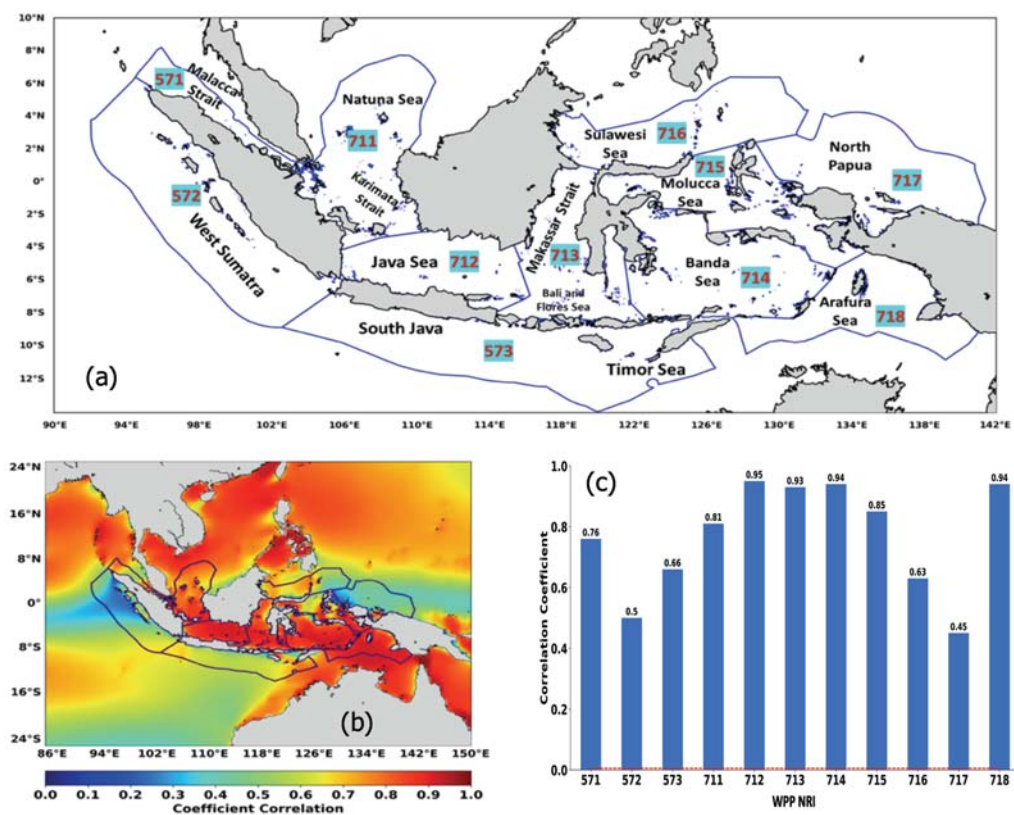
Gambar 3 memperlihatkan karakteristik musiman angin dan gelombang di wilayah Indonesia yang mewakili musim barat (Desember-Februari; DJF) dan musim timur (Juni-Agustus; JJA). Pada periode DJF pada umumnya angin bertiup dari belahan bumi utara (BBU) ke belahan bumi selatan (BBS) dan di perairan Indonesia pola angin cenderung berembus dari barat ke timur dengan kecepatan < 9 m/s (Gambar 3a). Sebaliknya pada periode JJA, angin di perairan Indonesia pada umumnya bertiup dari timur ke barat dengan kecepatan < 11 m/s (Gambar 3b). Pola angin pada musim peralihan 1 (Maret-Mei; MAM) dan peralihan 2

(September-November; SON) berubah-ubah dengan kecepatan rata-rata yang lebih lemah (< 7 m/s) dibandingkan periode DJF dan JJA (gambar tidak diperlihatkan).

Iklim gelombang di perairan Indonesia bagian dalam (*inner seas*) pada umumnya sesuai dengan arah embusan angin lokal, yaitu menjalar ke timur (barat) pada periode DJF (JJA) dengan tinggi gelombang signifikan (*significant wave height; SWH*) $< 1,5$ m (Gambar 3c dan 3d). Namun, tidak demikian halnya dengan perairan Indonesia yang merupakan laut terbuka (*open sea*), yaitu yang berhadapan langsung dengan Samudra Pasifik (di sebelah utara) dan Samudra Hindia (di sebelah selatan), arah gelombang dapat berbeda dengan arah angin lokal dan tinggi gelombangnya cenderung lebih tinggi (dapat mencapai 3 m) dibandingkan dengan SWH di perairan Indonesia bagian dalam (Gambar 3c dan 3d). Hal ini disebabkan karena di perairan terbuka, alun (*swell*) yang merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin nonlokal (*remote forcing*) lebih dominan dibandingkan *seas* (gelombang yang dibangkitkan angin lokal). Dalam hal ini, *swell* di perairan terbuka Indonesia dapat berasal dari Samudra Pasifik dan Hindia.

Pada pembahasan selanjutnya, analisis difokuskan di 11 WPP NRI (Gambar 4a). Pengaruh terbesar dari kecepatan angin lokal terhadap tinggi gelombang terjadi di WPP yang terdapat di perairan Indonesia bagian dalam (WPP 711, 712, 713, 714, 715, 718, dan bagian timur WPP 571) yang ditunjukkan dengan nilai korelasi (r) antara angin lokal dan SWH di WPP tersebut yang lebih tinggi dibandingkan dengan di WPP yang

terdapat di perairan terbuka (Gambar 4b dan 4c), yaitu bagian barat WPP 571 (Selat Malaka), WPP 572 (barat Sumatra), WPP 573 (selatan Jawa dan Laut Timor), WPP 716 (Laut Sulawesi dan Halmahera Utara), dan WPP 717 (utara Papua). Dengan demikian pengaruh *swell* yang menjalar dari Samudra Hindia cukup dominan di WPP 572, 573, dan bagian barat WPP 571, sedangkan *swell* dari Samudra Pasifik cukup signifikan di WPP 716 dan 717.



Gambar 4. (a) Peta WPP NRI, (Sumber data: Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan RI No. 18/Permen-Kp/2014); (b) Distribusi spasial nilai korelasi (r) antara kecepatan angin lokal dengan tinggi gelombang (SWH); dan (c) Sama dengan (b) tetapi untuk setiap WPP. Nilai batas r pada (b) dan (c; garis merah putus-putus) adalah $\pm 0,006$ dengan tingkat kepercayaan 95%.

2.1 Dispersi Data Gelombang

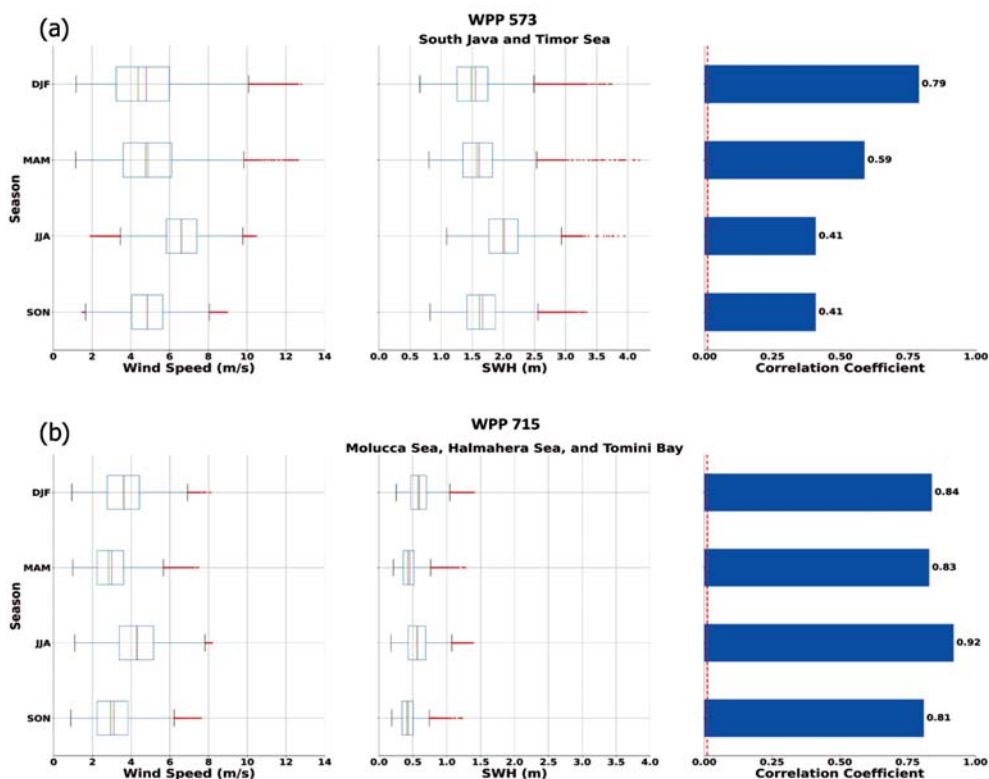
Untuk mengetahui dispersi atau ukuran penyebaran (variabilitas) data gelombang di setiap WPP, dilakukan perhitungan statistika deskriptif yang meliputi jumlah data (*count*), rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviation*), nilai minimum, persentil ke-25 (Q_1), persentil ke-50 (Q_2 atau median), persentil ke-75 (Q_3), nilai maksimum, jangkauan (*range*), jarak interkuartil (*interquartile range/IQR*), dan variansi (*variance*). Tabel 2 memperlihatkan dispersi data tinggi gelombang di setiap WPP NRI selama 42 tahun (1979-2020) dengan jumlah data 368.184.

Tabel 2. Dispersi data SWH (m) di setiap WPP NRI selama 42 Tahun (1979-2020).

Dispersi Data	WPP 571	WPP 572	WPP 573	WPP 711	WPP 712	WPP 713	WPP 714	WPP 715	WPP 716	WPP 717	WPP 718
<i>Mean</i>	0,64	1,69	1,71	0,70	0,61	0,52	0,65	0,51	0,88	1,11	0,91
<i>St. Dev.</i>	0,21	0,38	0,41	0,37	0,30	0,21	0,32	0,17	0,30	0,35	0,41
<i>Min.</i>	0,23	0,80	0,66	0,14	0,09	0,15	0,14	0,17	0,34	0,44	0,19
Q_1 (25%)	0,48	1,40	1,41	0,43	0,36	0,35	0,39	0,38	0,64	0,83	0,56
Q_2 (50%)	0,61	1,65	1,67	0,61	0,58	0,50	0,60	0,48	0,84	1,07	0,86
Q_3 (75%)	0,77	1,94	1,97	0,87	0,81	0,65	0,87	0,61	1,08	1,34	1,19
<i>Max.</i>	1,76	3,76	4,19	3,32	2,35	1,96	2,19	1,42	2,50	3,28	2,84
<i>Range</i>	1,54	2,96	3,53	3,17	2,26	1,81	2,04	1,25	2,16	2,83	2,65
<i>IQR</i>	0,29	0,54	0,56	0,44	0,45	0,30	0,48	0,23	0,43	0,51	0,63
<i>Variance</i>	0,04	0,14	0,17	0,14	0,09	0,04	0,10	0,03	0,09	0,12	0,17

Secara statistik (Tabel 2), diketahui bahwa terdapat 6 WPP yang memiliki SWH maksimum tertinggi ($\geq 2,5$ m) dengan urutan secara berturut-turut (dari tinggi ke rendah) adalah WPP 573 (4,19 m), WPP 572 (3,76 m), WPP 711 (3,32 m), WPP 717 (3,28 m), WPP 718 (2,84 m), dan WPP

716 (2,50 m). Sementara itu, WPP 571 (Selat Malaka) dan WPP 715 (Laut Maluku, Laut Halmahera, dan Teluk Tomini) merupakan 2 wilayah dengan SWH maksimum terendah, yaitu masing-masing bernilai 1,76 m dan 1,42 m.



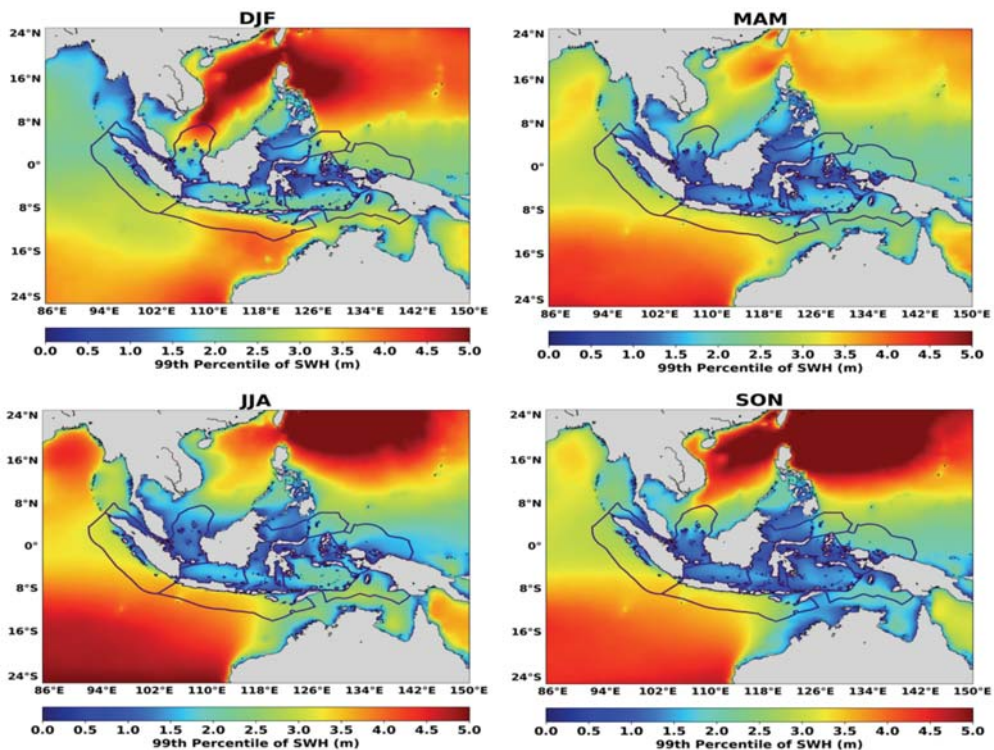
Gambar 5. Box plot kecepatan angin dan SWH, serta korelasi antara kecepatan angin dan SWH musiman di WPP 573 (a) dan WPP 715 (b). Garis ungu putus-putus di tengah box plot merupakan nilai rata-rata data, sedangkan garis merah putus-putus pada grafik nilai korelasi menunjukkan nilai batas korelasi ($r = \pm 0,01$) dengan tingkat kepercayaan 95%.

Gambar 5 memperlihatkan dispersi musiman dari kecepatan angin dan SWH yang ditampilkan dalam bentuk *box plot*, serta nilai koefisien

korelasi antara kecepatan angin dan SWH pada setiap musimnya di WPP 573 dan 715, yang masing-masing mewakili perairan dengan tinggi gelombang tertinggi dan terendah. *Outliers* (pencilan) SWH di WPP 572 (barat Sumatra) dan WPP 573 (selatan Jawa dan Laut Timor), setiap musimnya selalu ≥ 2 m (Gambar 5a untuk WPP 573 (2,5-4,2 m); gambar untuk WPP 572 (2,1-3,8 m) tidak diperlihatkan), sedangkan di WPP 718 (2,1-2,8 m) hanya terjadi pada musim barat (DJF) dan timur (JJA), serta di WPP 711 dan 717 hanya terjadi pada periode DJF (2,2-3,3 m) (gambar tidak diperlihatkan). Sementara itu, pencilan SWH terendah (0,75-1,4 m) terdapat di WPP 715 (Laut Maluku, Laut Halmahera, dan Teluk Tomini; Gambar 5b).

Pada studi ini, distribusi data tinggi gelombang di WPP NRI juga dianalisis dengan menghitung persentil ke-99 (P_{99}) (Gambar 6). P_{99} merepresentasikan 99% SWH nilainya lebih kecil dari nilai ambang (*threshold*) tertentu, sedangkan 1% SWH lainnya berada di atas nilai ambang tersebut. Berdasarkan Gambar 6, P_{99} di perairan Indonesia bagian utara (WPP 711, 716, dan 717) bernilai lebih tinggi saat periode DJF dan SON. Pada periode DJF, P_{99} tertinggi terdapat di WPP 711 (Laut Cina Selatan dan Laut Natuna) dengan nilai mencapai ~4,5 m. Selain itu, pada musim barat (DJF), WPP yang berada di perairan Indonesia bagian dalam (WPP 711-714, dan 718) cenderung memiliki nilai P_{99} tertinggi dibandingkan musim lainnya. Pada periode MAM, P_{99} di seluruh WPP nilainya terendah dibandingkan dengan periode lainnya. Sementara itu, pada periode JJA dan SON, WPP yang terletak di selatan perairan

Indonesia (WPP 572 dan 573) memiliki P_{99} terbesar dibandingkan periode lainnya.



Gambar 6. P_{99} SWH musiman (garis ungu adalah garis batas WPP).

2.2 Peluang Kejadian Gelombang Tinggi ($SWH \geq 2$ m) di setiap WPP

Pada studi ini, $SWH \geq 2$ m digunakan sebagai acuan untuk menentukan kejadian gelombang tinggi dan dianggap berbahaya bagi kapal kecil (*World Meteorological Organization*, 2018). Persentase peluang kejadian gelombang tinggi di setiap WPP dianalisis melalui perhitungan *Probability of Exceedance* (PE). Tabel 3 menunjukkan PE $SWH \geq 2$ m musiman di setiap WPP. Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa

WPP yang terletak di perairan Indonesia bagian dalam memiliki PE SWH ≥ 2 m yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan WPP yang berhadapan dengan laut lepas (samudra).

Tabel 3. PE SWH ≥ 2 m musiman di setiap WPP NRI.

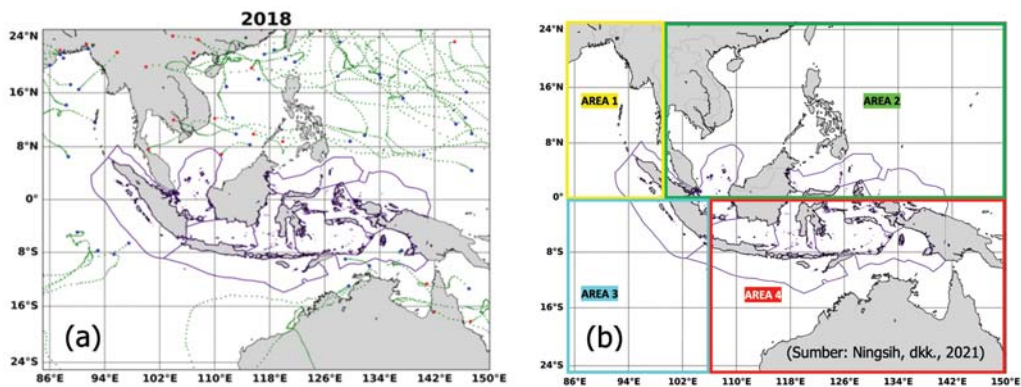
WPP	PE SWH ≥ 2 m (%)			
	DJF	MAM	JJA	SON
571	0,18	0,65	4,07	0,93
572	8,67	18,65	56,30	31,61
573	22,10	37,33	81,75	50,34
711	11,72	0,84	0,08	1,84
712	1,02	0,24	0,25	0,04
713	1,03	0,04	0,03	0,02
714	0,80	0,20	0,87	0,03
715	0,15	0,01	0,02	0,01
716	8,53	1,20	0,82	2,00
717	8,47	1,52	0,40	1,65
718	3,75	1,96	6,25	0,48

3. PENGARUH SIKLON TROPIS TERHADAP KEJADIAN GELOMBANG TINGGI

Karakteristik kejadian siklon tropis (a.l., area pembentukan, waktu, dan intensitas) di sekitar perairan Indonesia perlu diketahui sebagai dasar untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kejadian gelombang tinggi di WPP NRI. Berdasarkan analisis lokasi kemunculan dan arah pergerakan siklon tropis (ST) selama 42 tahun (1979-2020), maka daerah kejadian ST di sekitar perairan Indonesia dapat dibagi menjadi empat area, yaitu dua area di sebelah utara (Area 1 dan 2) dan dua area di sebelah selatan (Area 3 dan 4), seperti diperlihatkan pada Gambar 7.

Berdasarkan data kejadian ST selama 42 tahun (1979-2020) diketahui

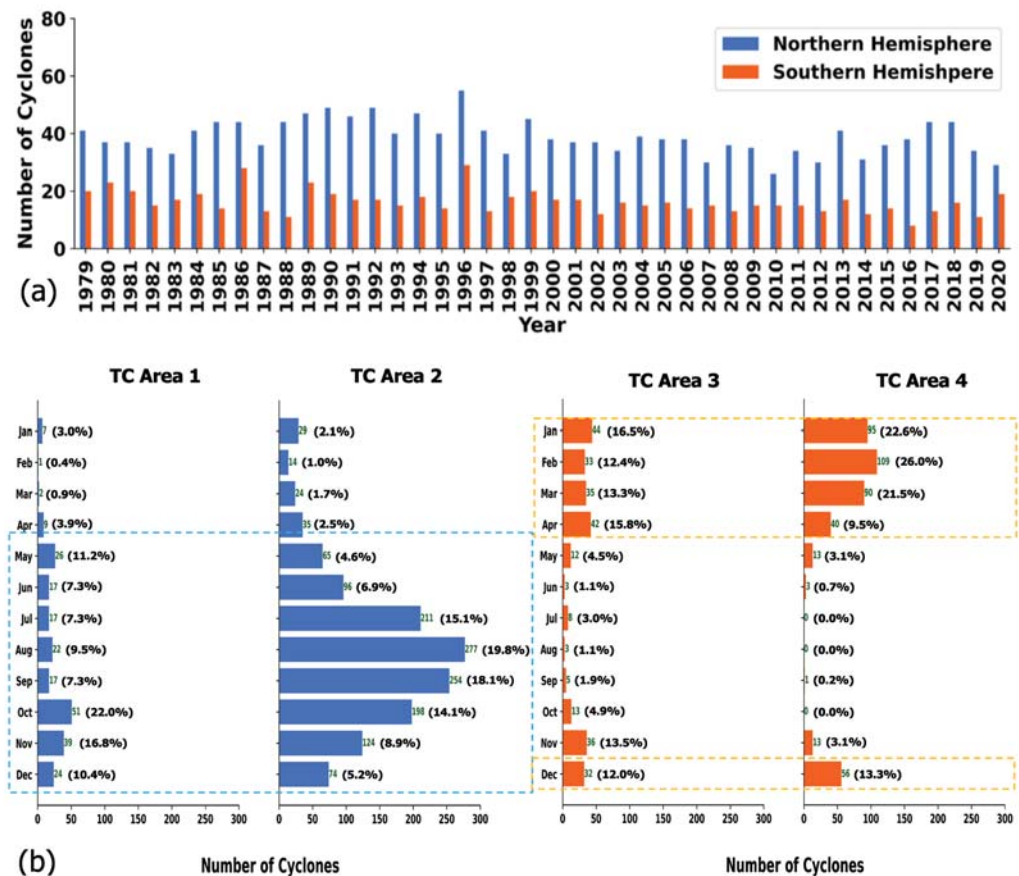
bahwa setiap tahunnya ST lebih banyak terjadi di BBU dibandingkan di BBS (Gambar 8a). Selama kurun waktu 42 tahun tersebut, terdapat 2.319 kejadian ST yang terjadi di seluruh area. ST yang terjadi di Area 1 sebanyak 232 kejadian (10%) dan di Area 2 sebanyak 1.401 kejadian (60,5%) (Gambar 8b). Sementara itu, di Area 3 terdapat 266 kejadian (11,5%) ST dan di Area 4 terdapat 420 kejadian (18%) (Gambar 8b).



Gambar 7. (a) Contoh distribusi kejadian siklon tropis tahun 2018. Garis ungu adalah garis batas WPP, titik biru adalah lokasi awal kejadian siklon tropis, titik hijau adalah lintasan siklon tropis, dan titik merah adalah lokasi berakhirnya kejadian siklon tropis; (b) Empat daerah pembangkitan dan lintasan badai (siklon/storms) tropis di sekitar wilayah Indonesia.

ST terbentuk di atas lautan luas yang umumnya memiliki suhu permukaan air laut yang hangat ($> 26,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Oleh sebab itu, ST di suatu belahan bumi secara umum paling banyak terjadi pada saat musim panas. Gambar 8b memperlihatkan karakteristik jumlah dan persentase kejadian ST bulanan di Area 1-4. Kemunculan ST di BBU (Area 1 dan 2) banyak terjadi pada bulan Mei-Desember, sedangkan di BBS (Area 3 dan 4), ST

sering ditemui pada bulan Desember-April.

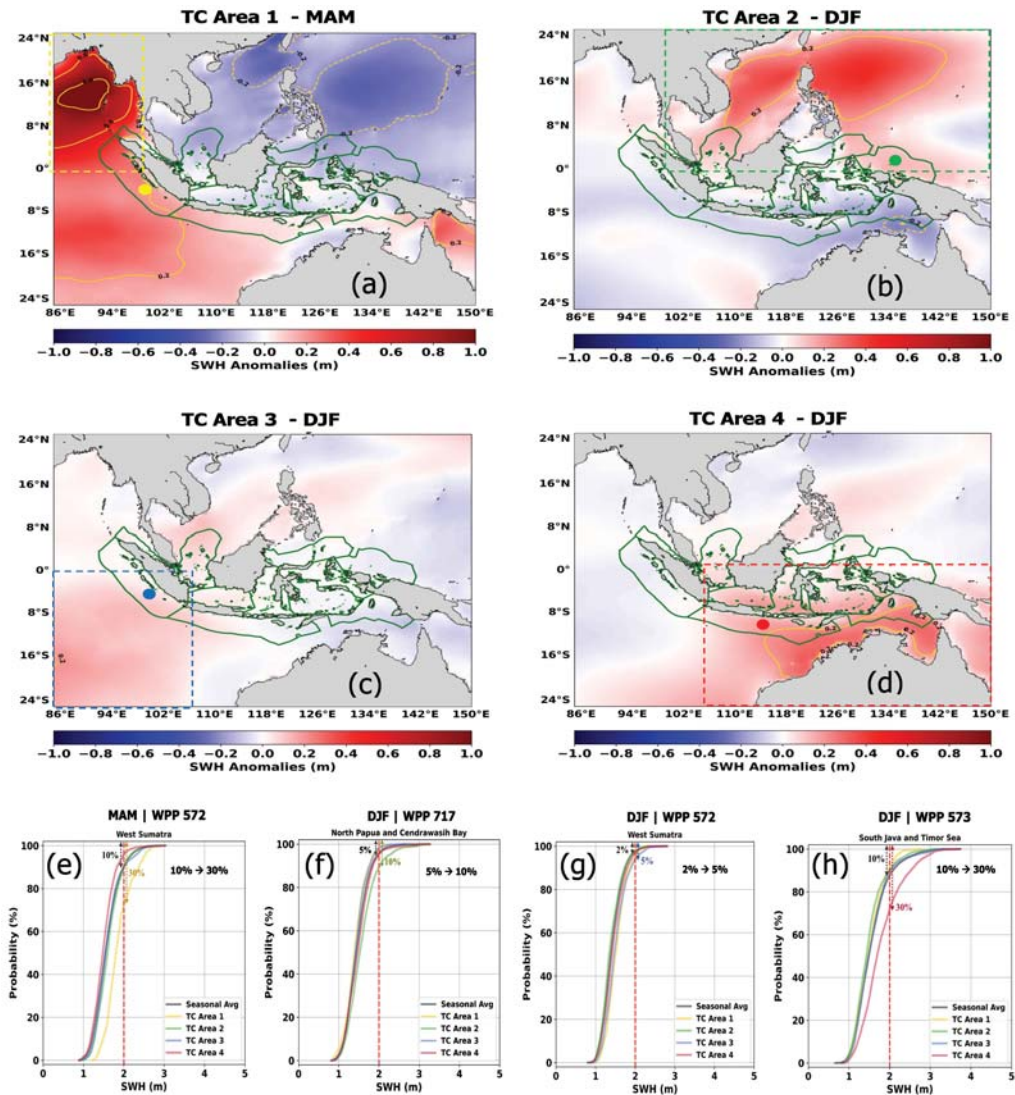


Gambar 8. (a) Jumlah kejadian ST per tahun (1979-2020); (b) Jumlah dan persentase kejadian ST setiap bulan di Area 1-4.

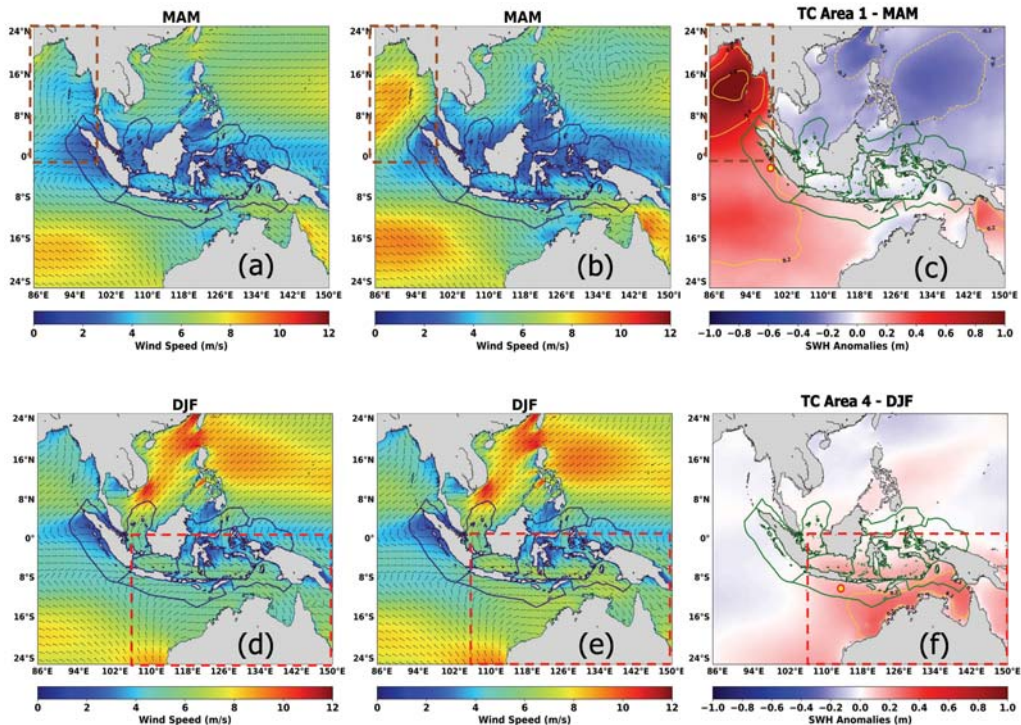
Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh ST dari setiap area pembentukan (Area 1-4) terhadap kejadian gelombang tinggi di WPP dan periode waktu kejadiannya, dilakukan perhitungan komposit anomali SWH yang disebabkan ST dari suatu area pada setiap musim serta perhitungan *cumulative distribution function* (CDF) SWH di setiap WPP

baik secara rata-rata musiman maupun ketika terjadi ST di suatu area pembentukan. Gambar 9 memperlihatkan perubahan persentase maksimum dari jumlah kejadian gelombang tinggi ($SWH \geq 2$ m) di suatu WPP yang dipengaruhi ST dari suatu area pembentukan.

Berdasarkan Gambar 9, diketahui bahwa WPP yang kejadian gelombang tingginya ($SWH \geq 2$ m) paling dipengaruhi oleh kejadian ST dari Area 1 adalah WPP 572 pada periode MAM dengan perubahan persentase kejadian sebesar 20% dibandingkan dengan nilai rata-rata musiman MAM (Gambar 9a dan 9e). Untuk kejadian ST dari Area 2, WPP yang paling banyak dipengaruhi adalah WPP 717 (periode DJF) dengan perubahan persentase kejadian gelombang tinggi sebesar 5% dibandingkan dengan nilai rata-rata musiman DJF (Gambar 9b dan 9f). Sementara itu, WPP 572 (periode DJF) mengalami perubahan persentase kejadian gelombang tinggi paling besar (3%) jika terjadi ST dari Area 3 (Gambar 9c dan 9g). Selanjutnya, untuk kejadian ST dari Area 4, perubahan persentase kejadian gelombang tinggi terbesar terjadi di WPP 573, yaitu sebesar 20% (Gambar 9d dan 9h).



Gambar 9. Komposit anomali SWH yang disebabkan ST dari Area 1 pada MAM (a), dari Area 2 pada DJF (b), dari Area 3 pada DJF (c), dan dari Area 4 pada DJF (d). CDF SWH di WPP 572 pada MAM (e), WPP 717 pada DJF (f), WPP 572 pada DJF (g), dan WPP 573 pada DJF (h). Garis hijau pada a-d adalah batas WPP. Garis hitam pada e-h adalah CDF rata-rata musiman selama 42 tahun, sedangkan garis kuning, hijau, biru, dan merah muda masing-masing adalah CDF SWH untuk ST dari Area 1, 2, 3, dan 4. Garis putus-putus merah pada e-h adalah *threshold value* dari kejadian gelombang tinggi (SWH ≥ 2 m).



Gambar 10. (a) Pola kecepatan angin rata-rata musiman (MAM); (b) Komposit kecepatan angin musiman pada MAM ketika terjadi ST di Area 1; dan (c) Komposit anomali SWH pada saat ST terjadi di Area 1 pada periode MAM. (d)-(f) masing-masing sama dengan (a)-(c), tetapi untuk ST yang terjadi di Area 4 dan pada periode DJF. Garis ungu dan hijau adalah batas WPP. Kotak merah putus-putus adalah batas Area 1 ST (a-c) dan Area 4 ST (d-f).

Untuk lebih memahami karakteristik perubahan kecepatan angin ketika terjadi ST di suatu area pembentukan yang menyebabkan perubahan persentase kejadian gelombang tinggi, dilakukan analisis perbandingan pola kecepatan angin musiman dengan komposit kecepatan angin pada saat terjadi ST tersebut (pada musim yang sama). Pada naskah ini, contoh analisis diberikan hanya untuk perubahan persentase kejadian gelombang tinggi paling besar, yaitu sebesar 20%

yang terjadi di WPP 572 akibat ST di Area 1 (MAM) dan WPP 573 akibat ST di Area 4 (DJF). Gambar 10b memperlihatkan adanya perubahan kecepatan angin ketika terjadi ST di Area 1 (MAM) dibandingkan pola rata-rata musiman MAM (Gambar 10a) yang menyebabkan anomali positif dari SWH di WPP 572 (Gambar 10c). Sementara itu, perubahan kecepatan angin ketika terjadi ST di Area 4 (DJF) diperlihatkan pada Gambar 10e (dibandingkan pola rata-rata musiman DJF pada Gambar 10d) yang menyebabkan anomali positif dari SWH di WPP 573 (Gambar 10f).

4. KARAKTERISTIK TINGGI GELOMBANG LAUT DI ALUR LAUT KEPULAUAN INDONESIA DAN *SEA LANE OF COMMUNICATION MALACA*

Dalam rangka mendukung keselamatan transportasi laut yang melalui Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI; Gambar 11), informasi karakteristik dan peluang kejadian gelombang tinggi (ekstrem) memiliki peranan yang sangat penting di jalur ALKI tersebut. Gambar 12 dan 13 memperlihatkan karakteristik SWH (a.l., SWH rata-rata, SWH maksimum, P_{99} dari SWH, dan PE SWH ≥ 2 m) di 21 titik *Sea Lane of Communication (SLoC) Malaca* dan ALKI (Gambar 11), yaitu untuk periode DJF dan MAM (Gambar 12) dan untuk periode JJA dan SON (Gambar 13).

Secara umum, pada periode DJF kewaspadaan perlu ditingkatkan di hampir semua titik di jalur *SLoC Malaca* dan ALKI (kecuali titik 2 dan 9) karena SWH maksimum dapat mencapai > 2 m (Gambar 12b). Perhatian

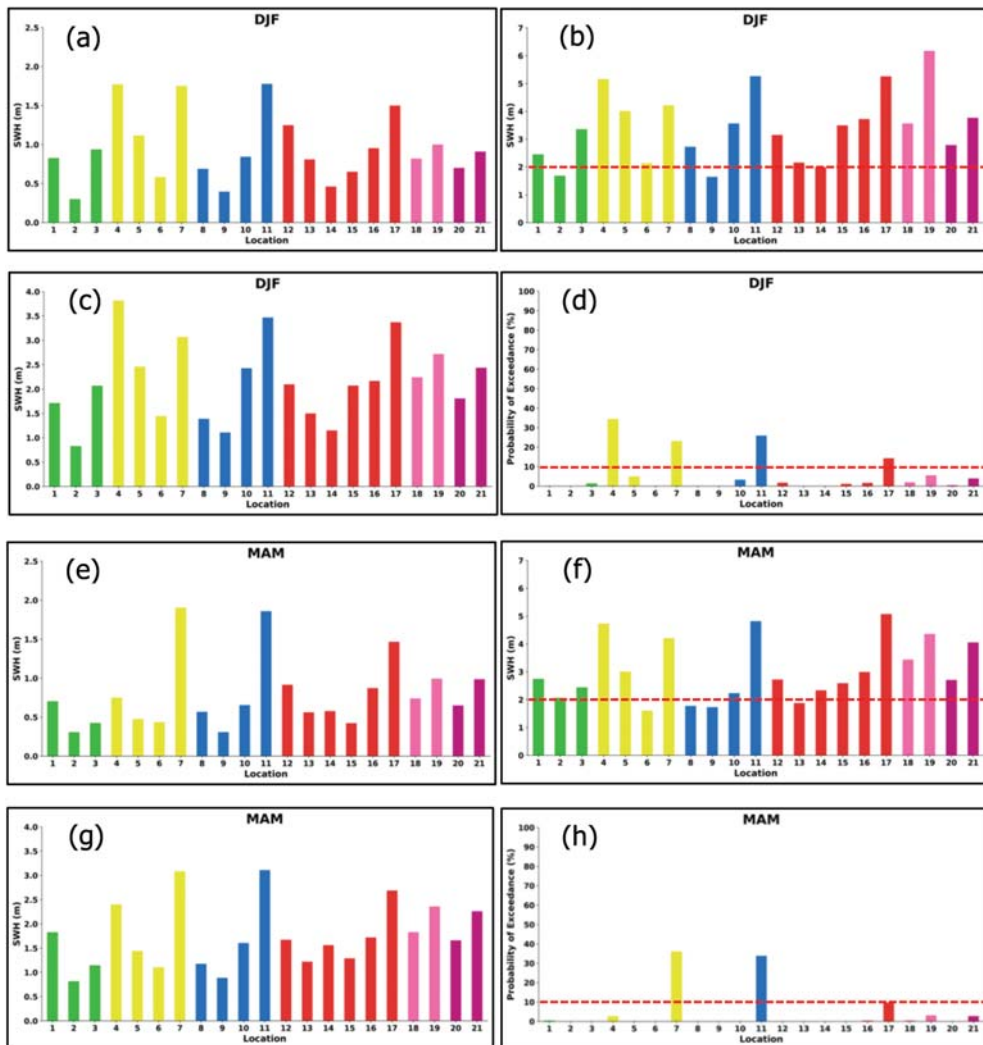
husus diperlukan di titik 4 dan 7 (ALKI-I), titik 11 (ALKI-II) dan 17 (ALKI-II) karena $PE\ SWH \geq 2\text{ m}$ dapat mencapai $> 10\%$ (Gambar 12d).



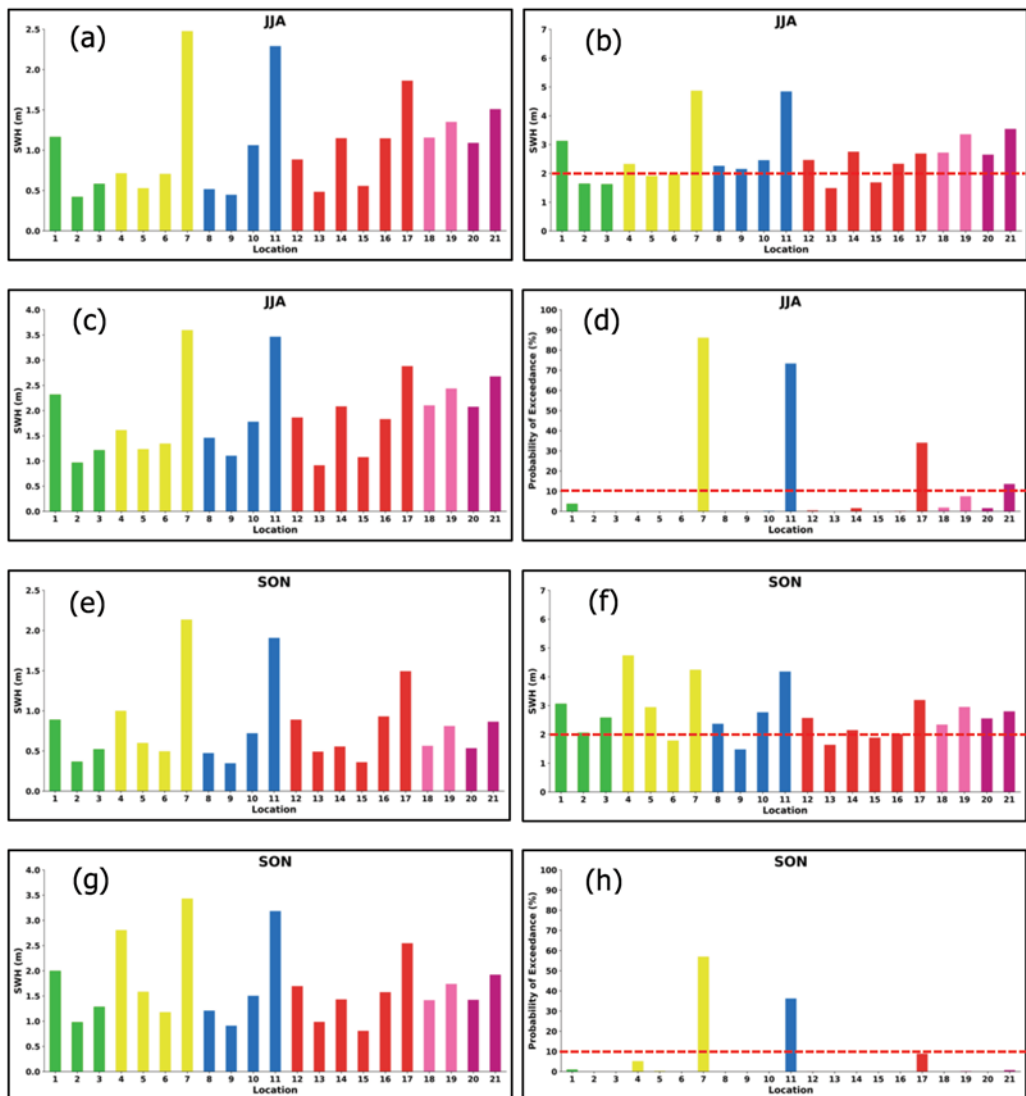
Gambar 11. Alur laut kepulauan Indonesia (sumber: modifikasi dari <https://1001indonesia.net/alur-laut-kepulauan-Indonesia>). Poin 1-21 merupakan titik acuan analisis. SloC *Malaca* (1-3), ALKI-I (4-7), ALKI-II (8-11), ALKI-III (12-17), ALKI-III B (18-19), dan ALKI-III C (20-21).

Pada periode MAM, SWH maksimum $> 2\text{ m}$ terjadi juga hampir di semua titik di jalur SloC *Malaca* dan ALKI (kecuali di titik 6, 8, 9, dan 13; Gambar 12f). $PE\ SWH \geq 2\text{ m}$ lebih dari 10% terjadi di titik 7 (ALKI-I), 11 (ALKI-II), dan 17 (ALKI-III), (Gambar 12h). Untuk periode JJA, SWH maksimum $> 2\text{ m}$ terjadi hampir di seluruh titik, kecuali di titik 2, 3, 13, dan 15 (Gambar 13d). Kewaspadaan perlu diberikan di titik 7 (ALKI-I), 11 (ALKI-II), 17 (ALKI-III), dan 21 (ALKI-III C) karena $PE\ SWH \geq 2\text{ m}$ di lokasi tersebut $> 10\%$ (Gambar 13d). Sementara itu, untuk periode SON, SWH maksimum $< 2\text{ m}$ hanya terjadi di titik 6, 9, 13, 15 (Gambar 13f). Pada periode ini (SON), $PE\ SWH \geq 2\text{ m}$ mencapai lebih dari 10% terdapat di titik

7 (ALKI-I), 11 (ALKI-II), 17 (ALKI-III), seperti dapat dilihat pada Gambar 13h.



Gambar 12. Karakteristik SWH di 21 titik jalur SloC *Malaca* dan ALKI. (a)-(d) pada periode DJF dan (e)-(h) pada periode MAM. (a) dan (e) SWH rata-rata; (b) dan (f) SWH maksimum; (c) dan (g) adalah P_{99} dari SWH; serta (d) dan (h) adalah persentase PE SWH ≥ 2 m. Garis merah putus-putus pada (b) dan (f) adalah batas SWH maksimum bernilai 2 m, sedangkan pada (d) dan (h) adalah batas PE SWH ≥ 2 m yang nilainya 10%.



Gambar 13. Sama dengan pada Gambar 12, tetapi (a)-(d) untuk periode JJA dan (e)-(h) untuk periode SON.

5. POTENSI ENERGI GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN INDONESIA

Gelombang laut merupakan salah satu sumber EBT yang ramah lingkungan dan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan *wave energy converter* (WEC). Oleh sebab itu, pemahaman karakteristik gelombang laut di perairan Indonesia tidak hanya penting dari sudut pandang manajemen risiko bencana (*disaster risk management*) yang disebabkan, tetapi juga penting dari segi potensinya. Pada bagian ini akan dibahas hasil kajian analisis lokasi pemasangan WEC yang paling potensial di perairan Indonesia.

5.1 Parameter untuk Penentuan Lokasi Pemasangan WEC

Secara umum, terdapat enam parameter untuk menentukan lokasi potensial pemasangan WEC, yaitu daya gelombang rata-rata, *coefficient of variance* (CoV), *optimum hotspot identifier* (OHI), *wave development index* (WEDI), batimetri, dan jarak dari pantai ke lokasi potensial. Tiga parameter pertama (daya gelombang, CoV, dan OHI) terkait dengan potensi dan variabilitas daya gelombang, parameter keempat (WEDI) berhubungan dengan kondisi *metocean* dan terkait dengan ketahanan WEC saat dioperasikan, sedangkan dua parameter terakhir (batimetri dan jarak) terkait dengan faktor keekonomian.

5.1.1. *Coefficient of Variation*

Coefficient of Variation atau CoV menunjukkan tingkat variabilitas daya gelombang di daerah kajian (Lavidas dan Venugopal, 2017). Parameter

CoV digunakan untuk mengidentifikasi lokasi potensial untuk pemasangan WEC yang memiliki potensi daya gelombang tinggi dengan variasi daya yang minimum. Perhitungan ini digunakan untuk memastikan produksi daya gelombang tidak terganggu selama WEC beroperasi di suatu perairan. Nilai CoV dihitung melalui hubungan berikut:

$$CoV = \frac{\sigma}{P_{mean}} \quad (1)$$

dengan σ adalah simpangan baku daya gelombang (kW/m) dan P_{mean} adalah daya gelombang rata-rata (kW/m). Nilai $CoV < 0,85$ digunakan sebagai kriteria untuk penentuan lokasi potensial pemasangan WEC (Cornett, 2008), yaitu suatu lokasi yang memiliki daya gelombang yang stabil.

5.1.2. Optimum Hotspot Identifier

Optimum hotspot identifier atau *OHI* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan lokasi yang cocok untuk mengekstraksi daya gelombang. Untuk menghitung *OHI* diperlukan tiga parameter (Kamranzad, dkk., 2017), yaitu daya gelombang rata-rata bulanan, peluang kejadian daya gelombang yang melebihi 2 kW/m, dan variabilitas bulanan daya gelombang. Dalam hal ini, variabilitas bulanan daya gelombang ditentukan dengan menghitung parameter *monthly variability index (MVI)*, yaitu melalui persamaan berikut:

$$MVI = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{mean}} \quad (2)$$

dengan P_{max} adalah daya gelombang rata-rata bulanan yang paling energetik, P_{min} adalah daya gelombang rata-rata bulanan yang paling tidak energetik, dan P_{mean} adalah daya gelombang rata-rata.

Selanjutnya, lokasi yang paling potensial dapat ditentukan berdasarkan nilai rata-rata daya gelombang, peluang kejadian gelombang yang tinggi ($> 2 \text{ kW/m}$), dan nilai yang MVI rendah, yaitu dengan menghitung OHI berdasarkan hubungan berikut ini:

$$OHI = \frac{P_{mean} \times P}{MVI} \quad (3)$$

dengan P adalah peluang kejadian daya gelombang melebihi 2 kW/m . Nilai OHI yang semakin tinggi di suatu perairan menunjukkan bahwa daya gelombang di lokasi tersebut semakin layak untuk dimanfaatkan.

5.1.3. Wave Development Index

Untuk menilai lokasi potensial sebagai tempat pemasangan WEC, tidak cukup hanya berdasarkan nilai daya gelombangnya. Kondisi *metocean* perlu juga untuk ditinjau karena berpengaruh pada daya gelombang dan ketahanan struktur pemasangan WEC yang dioperasikan. Dalam hal ini, *wave development index* ($WEDI$) yang memberikan informasi tentang potensi bahaya yang diakibatkan kondisi cuaca buruk (a.l., badai atau siklon tropis) pada struktur WEC perlu dihitung berdasarkan formula berikut (Lavidas dan Venugopal, 2017):

$$WEDI = \frac{P_{mean}}{J_{wave}} \quad (4)$$

dengan J_{wave} adalah daya gelombang maksimum yang antara lain dapat

terjadi ketika ada badai.

Parameter *WEDI* menyatakan potensi dari daya gelombang pada suatu lokasi sekaligus juga memperlihatkan tingkat bahayanya pada struktur WEC. Nilai *WEDI* mempunyai rentang dari 0 hingga 1 dan semakin besar nilainya (~1) artinya lokasi tersebut rentan terhadap kondisi cuaca buruk dan dalam hal ini dapat mempengaruhi ketahanan dari operasional WEC. Tabel 4 menunjukkan resume dari parameter yang digunakan untuk penentuan lokasi potensial pemasangan WEC.

Tabel 4. Parameter untuk penentuan lokasi potensial pemasangan WEC.

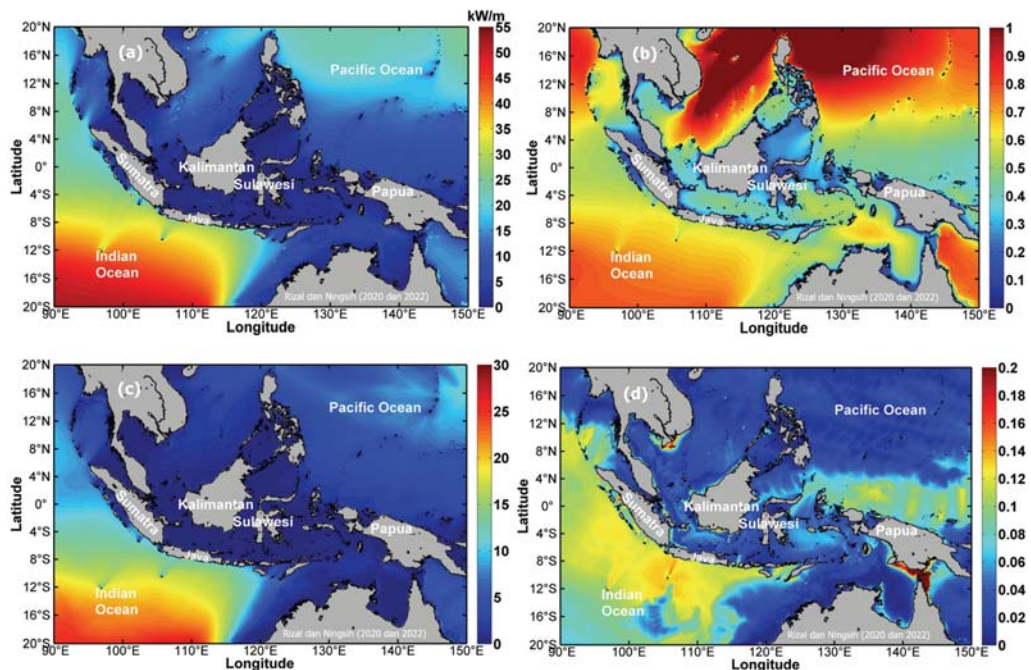
No	Parameter	Kriteria	Sumber	Keterangan
1.	Daya gelombang rata-rata (kW/m)	> 20	Falcão (2010)	Potensi
2.	<i>Coefficient of Variance (CoV)</i>	< 0,85	Cornett (2008)	Kestabilan
3.	<i>Optimum Hotspot Identifier (OHI)</i>	Maksimum	Kamranzad, dkk. (2017)	Potensi optimum
4.	<i>Wave Development Index (WEDI)</i>	< 1	Lavidas and Venugopal (2017)	Potensi bahaya bencana <i>metocean</i> yang mempengaruhi ketahanan WEC
5.	Kedalaman (m)	Dangkal (minimum)	–	Keekonomian
6.	Jarak dari pantai (km atau m)	Dekat (minimum)	–	Keekonomian

5.2 Analisis Lokasi Pemasangan WEC Paling Potensial di Perairan

Indonesia

Gambar 14 memperlihatkan perhitungan empat parameter penentu lokasi potensial pemasangan WEC (daya gelombang rata-rata, *CoV*, *OHI*,

dan *WEDI*) berdasarkan data tinggi gelombang signifikan (SWH) hasil simulasi model evolusi spektrum energi gelombang (*WAVEWATCH III/WW3* dan *Simulating WAVes Nearshore/SWAN*) selama 25 tahun (1991–2015), (Rizal dan Ningsih, 2022; Rachmayani, dkk., 2021; Ningsih, dkk., 2020b, Rizal dan Ningsih, 2020; Ningsih, dkk., 2019; dan Rizal, dkk., 2019).



Gambar 14. (a) Daya gelombang rata-rata di perairan Indonesia; (b) Distribusi *CoV*; (c) *OHI*; dan (d) *WEDI*.

Berdasarkan kriteria pada Tabel 4 dan analisis lebih lanjut dari empat parameter (daya gelombang rata-rata, *CoV*, *OHI*, dan *WEDI* yang terdapat pada Gambar 14), serta dengan meninjau dua parameter tambahan (batimetri dan jarak dari pantai), diperoleh empat lokasi potensial untuk

pemasangan WEC di perairan Indonesia, yaitu Pulau Pagai Selatan, Binuangeun, Baron (Yogyakarta), dan Jember (Gambar 15a). Nilai enam parameter penentu lokasi potensial pemasangan WEC di empat lokasi terpilih tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

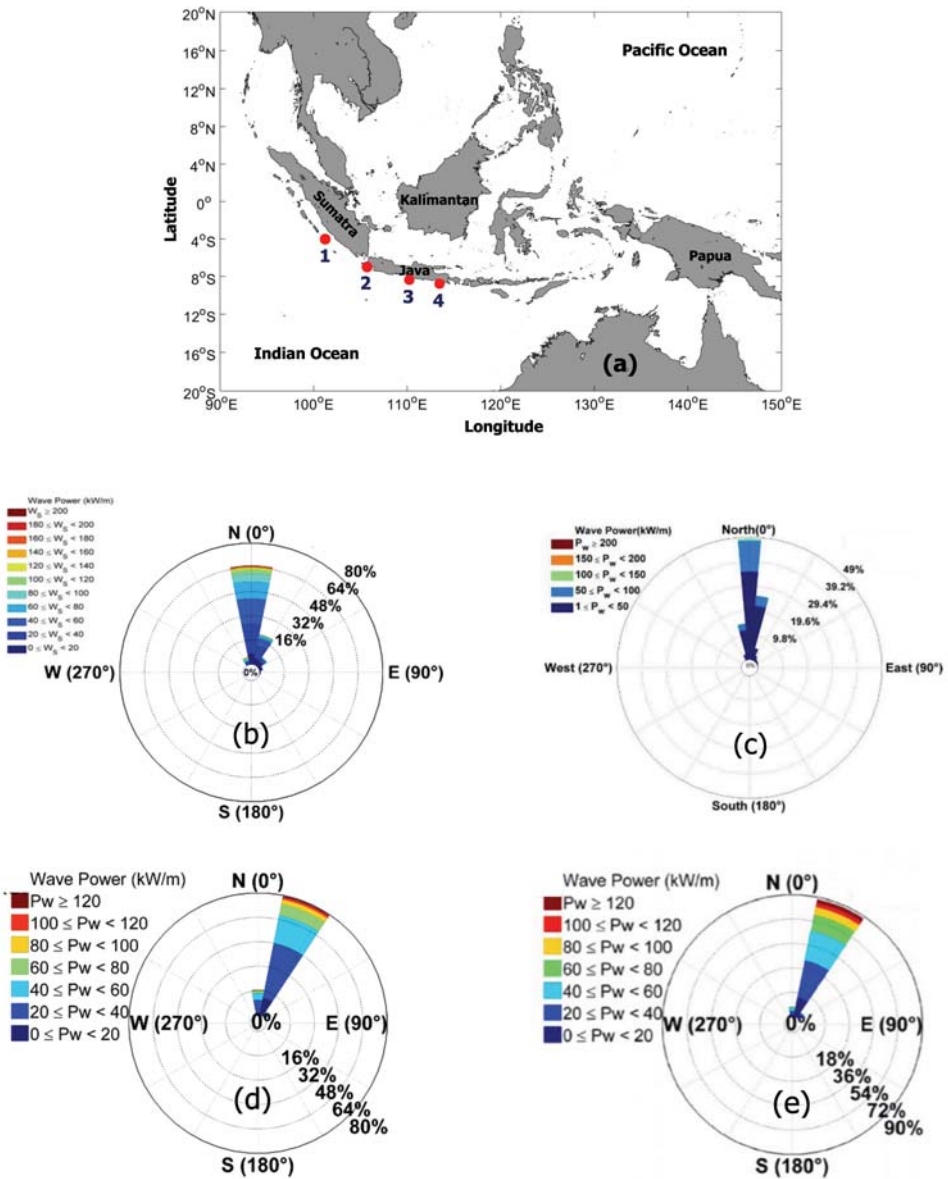
Tabel 5. Nilai parameter penentu lokasi potensial pemasangan WEC di empat lokasi terpilih.

No	Lokasi	Daya gelombang rata-rata (kW/m)	CoV	OHI (kW/m)	WEDI	Kedalaman (m)	Jarak dari pantai (km)
1	Pulau Pagai Selatan	25,98	0,40	12,07	0,14	46	6,94
2	Binuangeun	32,26	0,75	22,36	0,38	67	1,74
3	Baron (Yogyakarta)	40,16	0,44	20,17	0,15	48	1,74
4	Jember	47,78	0,46	22,37	0,13	72	1,74

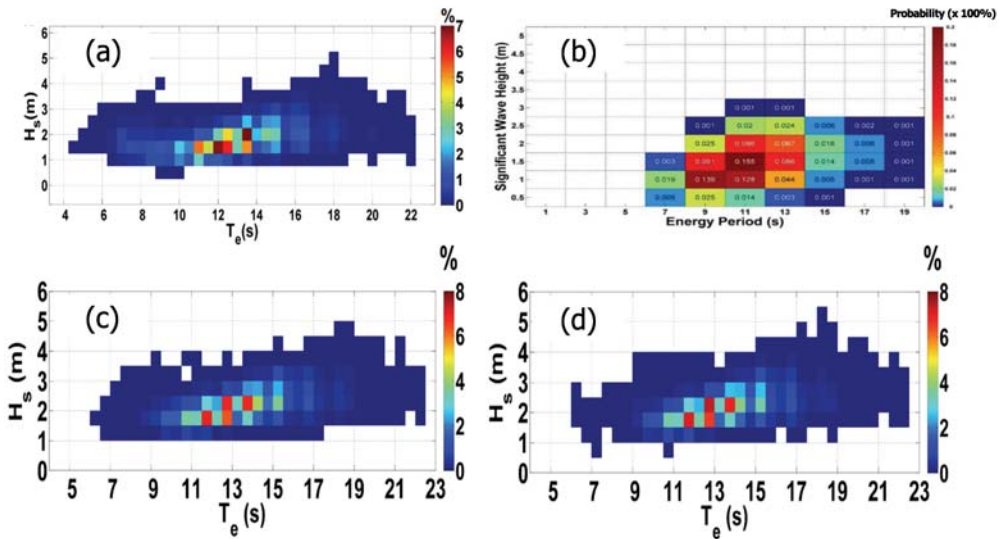
Gambar 15b-e menunjukkan mawar daya gelombang (*wave power rose*) di lokasi potensial 1-4 (Gambar 15a). Berdasarkan *wave power rose*, arah dominan penjalaran gelombang di setiap lokasi potensial dapat diketahui. Arah dominan dari penjalaran gelombang merupakan faktor yang penting dalam pemasangan WEC (Hadadpour dkk., 2014). Pada Gambar 15b dan 15c, diketahui bahwa arah dominan penjalaran gelombang di lokasi 1 (Pulau Pagai Selatan) dan lokasi 2 (Binuangen) adalah ke utara dengan peluang kejadian besarnya daya gelombang paling dominan masing-masing berkisar 20-40 kW/m dan 1-50 kW/m. Sementara itu, di lokasi 3 (Baron) dan lokasi 4 (Jember) arah dominan gelombang ke timur laut dengan peluang kejadian besar daya gelombang yang dominan di kedua lokasi tersebut sekitar 20-40 kW/m (Gambar 15d-e).

Selain arah penjalaran gelombang, karakteristik perairan (*sea state*) juga merupakan faktor yang penting dalam pemilihan tipe WEC. Berdasarkan analisis *bivariate diagram of sea state* dapat diketahui tinggi dan periode gelombang yang peluang kejadiannya paling besar di suatu perairan. Selanjutnya, tipe WEC (*point absorber, attenuator, atau terminator*) yang akan dipasang dipilih yang memiliki *power matrix* paling sesuai dengan karakteristik *bivariate diagram of sea state* di suatu perairan dan paling berpeluang menghasilkan daya listrik paling besar (Lavidas dan Venugopal, 2017). Dalam hal ini, setiap WEC memiliki karakteristik *power matrix* tertentu yang penggunaannya perlu disesuaikan dengan karakteristik (*sea state*) suatu perairan.

Gambar 16 menunjukkan *bivariate diagram of sea state* di lokasi 1–4 (Gambar 15a). Di lokasi 1, peluang kejadian paling tinggi terjadi untuk SWH sekitar 1,5-2 m dan periode energi sekitar 11-13 s. Lokasi 2 memiliki karakteristik perairan dengan peluang kejadian paling tinggi untuk SWH sekitar 1-2 m dan periode energi sekitar 9-11 s. Sementara itu, di lokasi 3 dan 4, karakteristik perairannya hampir sama, yaitu peluang kejadian paling tinggi terjadi untuk SWH sekitar 1,5-2,5 m dan periode energi sekitar 12-14 s.



Gambar 15. (a) Empat lokasi potensial untuk pemasangan WEC di perairan Indonesia; (b)-(e) Masing-masing adalah mawar daya gelombang di lokasi 1, 2, 3, dan 4 (Gambar 15a).

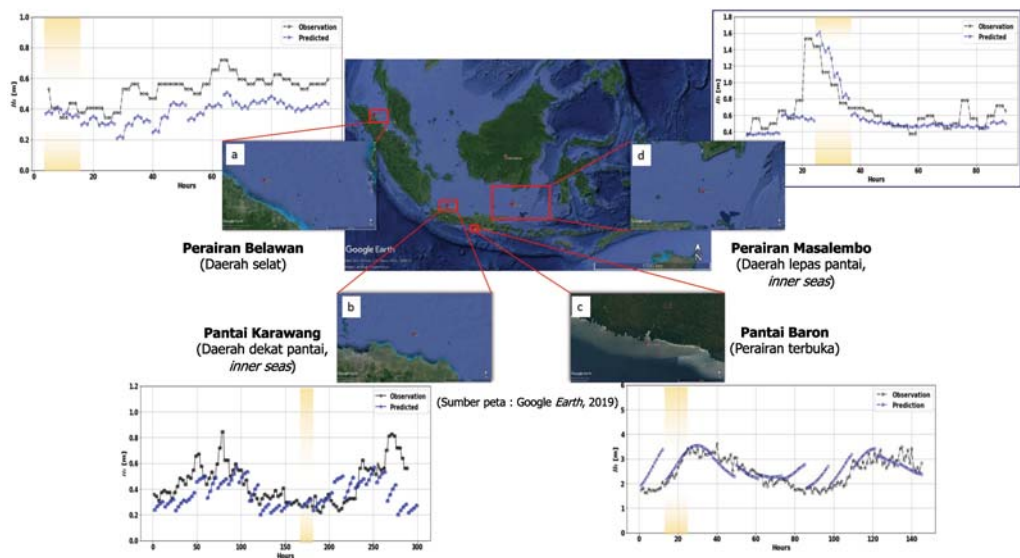


Gambar 16. Bivariate diagram of sea state di empat lokasi potensial (Gambar 15a): (a) Lokasi 1; (b) Lokasi 2; (c) Lokasi 3; dan (d) Lokasi 4. Colour bar menyatakan peluang kejadian (%) dari pasangan SWH (H_s) dan periode energi (T_e).

6. PEMANFAATAN DATA SCIENCE UNTUK MITIGASI DAN ADAPTASI KEJADIAN GELOMBANG TINGGI

Seiring dengan harapan agar penelitian di perguruan tinggi dapat berkontribusi untuk meningkatkan daya saing dan kedaulatan bangsa yang tidak hanya berbasis ilmu pengetahuan, tetapi juga inovasi dan teknologi, sebagaimana dirumuskan pada Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2015-2045, serta arahan dari pemerintah terkait tema-tema penelitian yang menjadi prioritas, seperti *blue economy* di bidang kelautan dan pengembangan *digital economy* untuk efisiensi dalam era revolusi industri 4.0 dan *society 5.0*, maka kami di Kelompok Keahlian (KK) Oseanografi-ITB telah dan sedang meningkatkan efisiensi dan diseminasi

hasil penelitian yang antara lain meliputi: (1) pemanfaatan *machine learning* (Gambar 17) untuk prediksi tinggi gelombang laut di beberapa perairan Indonesia, seperti perairan Belawan yang mewakili daerah selat, perairan Karawan dan Masalembu yang mewakili *inner seas*, dan perairan Baron yang mewakili laut terbuka (Abdullah, dkk., 2022); dan (2) penggunaan *data science* dalam bentuk pembuatan dasbor *monitoring* agar hasil penelitian kami terkait karakteristik gelombang laut di WPP serta jalur SloC Malaca dan ALKI lebih mudah dan cepat untuk diakses oleh pemangku kebijakan dan pengguna (a.l., dinas perhubungan laut, nelayan, satuan armada penangkap ikan, dan kalangan industri perikanan).



Gambar 17. Pemanfaatan *machine learning* untuk prediksi tinggi gelombang laut (Abdullah, dkk., 2022).

Pendekatan *data science* (Matheus dkk., 2020) yang melibatkan berbagai metode dan alat analisis data untuk meningkatkan pemahaman (*insight*) fisis dari data diaplikasikan dalam pengembangan penelitian karakteristik tinggi gelombang laut ini. Salah satu bagian penting dalam *data science* adalah penampilan data ke dalam dasbor (papan/pedoman instrumen), karena dengan adanya dasbor memungkinkan untuk berbagi hasil interpretasi data, yang dalam hal ini merupakan kunci untuk mengisi kesenjangan informasi dengan pemangku kepentingan dan publik (Matheus dkk., 2020).

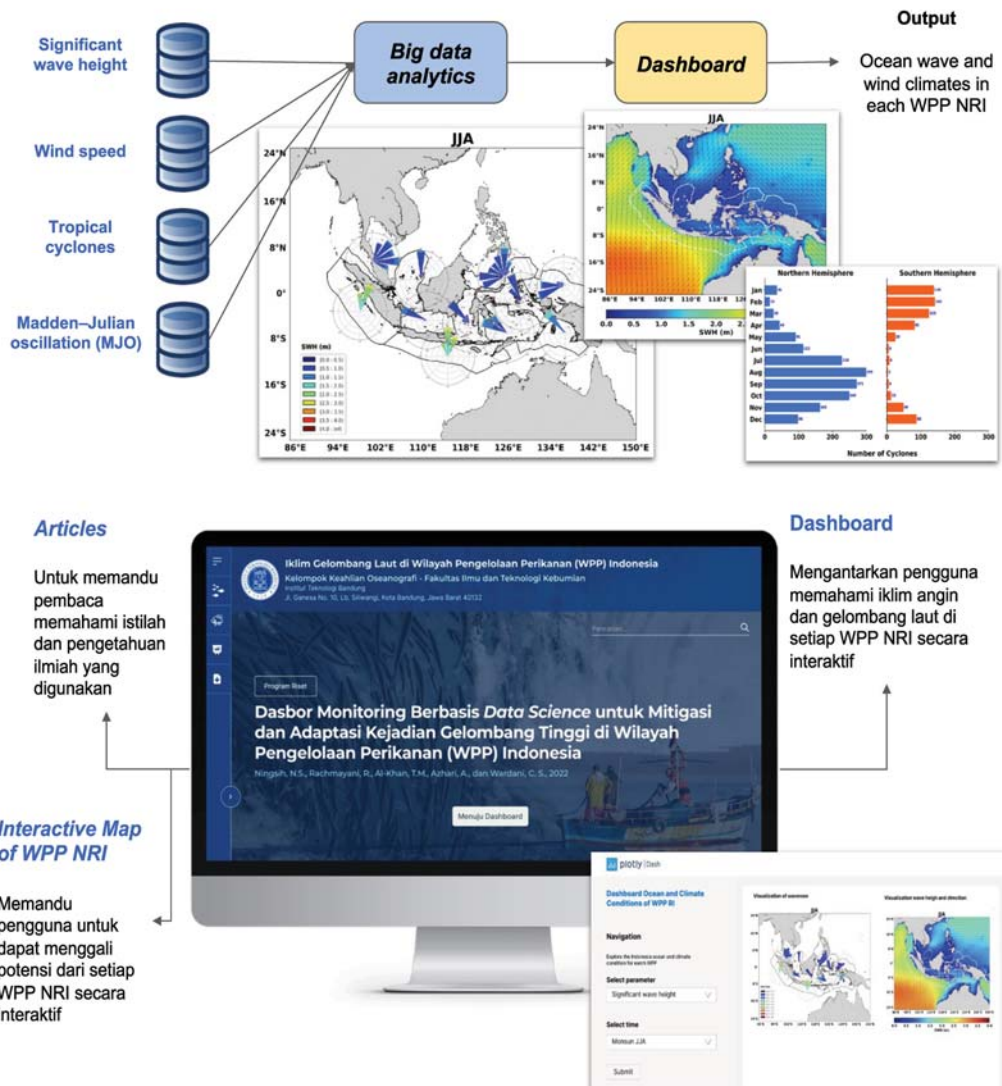
Metode analisis data secara konvensional memiliki banyak tantangan, antara lain diperlukannya waktu dan kerja keras untuk menganalisis hasil penelitian berdasarkan kumpulan proses dari volume data dalam jumlah besar (*big data*). Permasalahan tersebut dapat dipecahkan dengan bantuan alat interaktif berupa dasbor, seperti yang telah dilakukan oleh Baghdadi dkk. (2021) untuk menganalisis data kesehatan. Contoh lainnya adalah dasbor telah menjadi alat yang populer untuk memvisualisasikan dan memonitor penyebaran virus corona dan sangat berguna dalam mendukung pembuatan keputusan, khususnya oleh pemerintah India (Mitra dkk., 2021).

Dalam penelitian yang sedang dikembangkan dan dilakukan tahun ini, pekerjaan riset difokuskan pada pembuatan dasbor dari hasil penelitian sebelumnya (Ningsih, dkk., 2021), yaitu karakteristik tinggi gelombang laut ekstrem serta ketersediaan informasi zonasi dan waktu aman bagi pelayaran (navigasi) laut di WPP (khususnya bagi kapal

nelayan) serta di jalur SLoC *Malaca* dan ALKI. Dalam hal ini, dasbor yang sedang dibuat (Gambar 18) diharapkan dapat menampilkan dan mengompilasi berbagai jenis data kelautan yang memungkinkan penggunaanya untuk menganalisis data secara efektif, interaktif, serta memudahkan komunikasi dan diseminasi hasil penelitian, sehingga dapat meningkatkan proses pengambilan keputusan (Matheus dkk., 2020).

Selain itu, dasbor *monitoring* yang sedang dikembangkan diharapkan dapat "menerjemahkan" hasil penemuan ilmiah dari riset sebelumnya ke antarmuka yang ramah pengguna. Pendekatan *software engineering* dan teknologi *cloud* juga digunakan untuk mendukung pembuatan dasbor ini. Pemanfaatan teknologi informasi berupa teknologi *cloud* menghasilkan banyak peluang untuk melakukan analisis dan visualisasi data, dan memungkinkan terwujudnya sarana kolaboratif untuk dapat diakses oleh berbagai pihak (Signell dan Pothina, 2019). Pengembangan dasbor *monitoring* berbasis *data science* untuk mitigasi dan adaptasi kejadian gelombang tinggi di WPP Indonesia ini diharapkan dapat menjadi salah satu kontribusi KK Oseanografi-ITB di bidang kelautan dan kemaritiman.

Dasbor Monitoring Berbasis *Data Science* untuk Mitigasi dan Adaptasi Kejadian Gelombang Tinggi di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) Indonesia



Gambar 18. Pengembangan dasbor monitoring berbasis data science untuk mitigasi dan adaptasi kejadian gelombang tinggi di perairan Indonesia (Ningsih, dkk., 2022).

7. PENUTUP

Pemahaman dinamika gelombang laut dan karakteristiknya di perairan Indonesia, tidak hanya penting untuk pengelolaan risiko dan mitigasi bencananya, namun juga penting dari segi potensi energinya sebagai sumber energi baru dan terbarukan dan relevan dengan kebutuhan dan permasalahan bangsa, khususnya terkait dengan ketahanan energi nasional Indonesia. Tentu saja, untuk memaksimalkan pemanfaatan EBT dari gelombang laut di Indonesia tidak sebatas hanya berdasarkan pada pengetahuan potensi daya gelombang laut dan karakteristiknya di lokasi kajian, namun juga memerlukan kajian daya dukung lingkungan dan dampak sosio-ekonomi dari program tersebut. Selain itu, dalam rangka merealisasikan ekstraksi potensi daya gelombang laut di perairan Indonesia hingga menjadi suatu instalasi WEC yang terpasang dan operasional memerlukan kerja sama dengan semua pihak, baik dari segi pengembangan keilmuan dan teknologinya, a.l., dengan Program Studi Teknik Kelautan (FTSL), Program Studi Teknik Mesin (FTMD), dan Program Studi Teknik Tenaga Listrik (STEI), maupun dari segi dukungan kebijakan dari pemerintah, serta investasi baik dari pemerintah maupun investor.

Selain itu, KK Oseanografi-ITB senantiasa berupaya untuk turut berperan serta mewujudkan harapan pemerintah agar riset di perguruan tinggi dapat berkontribusi untuk meningkatkan daya saing dan kemandirian bangsa yang tidak hanya berbasis ilmu pengetahuan, tetapi

juga inovasi dan teknologi. Dalam hal ini, KK Oseanografi-ITB selalu beradaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta arahan tema riset yang diprioritaskan pemerintah, seperti pemanfaatan potensi *blue economy* di bidang kelautan dan pengembangan *digital economy* untuk efisiensi dalam era revolusi industri 4.0 dan *society* 5.0. Oleh sebab itu, pemanfaatan *data science* untuk meningkatkan efisiensi dan diseminasi hasil penelitian dalam bidang mitigasi dan manajemen bencana laut agar lebih mudah dan cepat untuk diakses oleh pemangku kebijakan dan masyarakat pengguna merupakan suatu keniscayaan.

Akhir kata, semoga tulisan ini secara substantif dapat memberikan wawasan, inspirasi, dan pengayaan bagi pengembangan ilmu oseanografi dan terapannya. Sinergitas dengan perkembangan teknologi, khususnya teknologi informasi dapat menunjang diseminasi hasil penelitian dengan cepat tersampaikan (*delivered*) pada berbagai pemangku kepentingan (a.l., pemerintah, nelayan, serta peneliti dan praktisi kelautan lainnya), dan mempercepat tercapainya pemanfaatan potensi *blue economy* dan pengembangan *digital economy* di sektor kelautan.

8. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala karunia dan rahmat yang telah dilimpahkan-Nya hingga saat ini. Pada hari yang berbahagia ini, perkenankanlah saya menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan

dan seluruh Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga saya sampaikan kepada kedua orang tua yang telah tiada dan sangat saya sayangi (Alm. RA. Basarah dan Almh. Djalimah) atas semua doa, harapan, dan didikan beliau, sehingga saya dapat meraih pencapaian kehidupan hingga kini yang benar-benar patut saya syukuri. Selanjutnya, penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada guru-guru saya yang telah mendidik dan mentransfer ilmu pengetahuan yang sangat berguna dari tingkat dasar sampai dengan perguruan tinggi, khususnya kepada Prof. Safwan Hadi, Ph.D., Dr. rer. nat. Dadang K. Miwardja, Alm. Drs. M. Ali, dan Prof. Dr. Eng. Takao Yamashita (Kyoto University).

Pada kesempatan ini, saya juga mengucapkan apresiasi dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada: (1) Dekan FITB-ITB (Dr. Irwan Meilano, S.T., M.Sc.) beserta jajarannya; (2) Para Pemberi Rekomendasi: Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim, Prof. Ir. Hasanuddin Z. Abidin M.Sc. Eng., Ph.D., Prof. Pudji Astuti Waluyo MS, Ph.D., Prof. Ir. Muhammad Syahril Badri Kusuma Ph.D., Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. (Universitas Sriwijaya), Prof. Dr. Ir. Muhammad Zainuri, DEA (UNDIP), dan Prof. A.J.F. Hoitink (Wageningen University, the Netherlands); (3) Para Pakar Penilai Karya Ilmiah: Prof. Dr. Ir. Yahdi Zaim, Prof. Ir. Benyamin Sapiie, Ph.D., Prof. Ir. Hasanuddin Z. Abidin, M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., Prof. Ir. Ketut Wikantika, M.Eng., Ph.D., Prof. Dr. Ir. Muhammad Zainuri, DEA,

Prof. Pudji Astuti Waluyo, M.S., Ph.D., Prof. Ir. M. Syahril Badri Kusuma Ph.D., dan Prof. Dr. Suprijadi, M.Eng.

Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada: (1) Prof. Ir. Lambok Hutasoit, M.Sc., Ph.D., Dr. Agus Supangat, DEA, Dr. Kunarso, S.T., M.Si., Dr.Ir. Dina Anggreni Sarsito, M.T., dan R. Dwi Susanto, Ph.D., atas dorongan, bantuan, dan semangat yang senantiasa diberikan, (2) Para anggota KK Oseanografi atas kerja sama dan dukungannya, (3) seluruh Staf Dosen dan Tenaga Kependidikan di FITB-ITB, (4) Sholihati Lathifa Sakina, S.Si., M.T., Laela Fiti Yani, S.Si., Titan Muslim Al Khan, S.Si, dan Ainun Azhari, S.Si, serta seluruh mahasiswa S1, S2, dan S3 yang telah berkontribusi terhadap capaian akademik ini.

Rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para keluarga tercinta: Almh. Lilis Sari Purnama, Almh. dr. Pupu Sari Rohayati, M.H.Kes., Alm. Ir. Syarif Hidayat, Alm. Eldi Bundansyah, Asep Budiarsa dan keluarga, anak saya Kurnia Sukma Adiguna, S.T, M.B.A, menantu Firra Ghassani Gumilar, S.T, M.Sc., dan keponakan (Alm. Bastian Rahman dan keluarga, dr. Sanditia Gumilang, Sp.PD, M.H.Kes. dan keluarga, dr. Shahdan Taufik Maulana dan keluarga, Sarlita Nurbaah dan keluarga, serta Akbar Nurmalik) atas doa dan dukungannya selama ini.

Akhir kata, saya juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu atas semua perhatian, bantuan, doa, dan kerja samanya dalam pencapaian akademik ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, F.A.R., Ningsih, N.S., and Al-Khan, T.M., 2022. *Significant wave height forecasting using long short-term memory neural network in Indonesian waters*. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy, 8, 183-192, <https://doi.org/10.1007/s40722-022-00224-3>.
- Baghdadi, A., Lama, S., Singh, R., Hoshyarmanesh, H., Razmi, M., and Sutherland, G.R., 2021. *A data-driven performance dashboard for surgical dissection*. Scientific Reports, 11(1), pp.1-13; DOI: 10.1038/s41598-021-94487-9.
- Bere, S. M., 2021. *2 Nelayan asal Sabu Raijua NTT terseret Badai Seroja hingga ke Australia*. Regional Kompas, (<https://regional.kompas.com/read/2021/04/10/215946978/2-nelayan-asal-sabu-raijua-ntt-terseret-badai-seroja-hingga-ke-australia>, diakses 12 September 2021).
- Berutu, S. A., 2021. *KMP Jatra 1 tenggelam di Pelabuhan Bolok NTT, Kemenhub: Tak ada korban*. News Detik, (<https://news.detik.com/berita/d-5520783/kmp-jatra-1-tenggelam-di-pelabuhan-bolok-ntt-kemenhub-tak-ada-korban>, diakses 12 September 2021).
- BPPT, 2018. *2018 Indonesia energy outlook*. ISBN 978-602-1328-05-7.
- Cornett, A. M., 2008. *A global wave energy resource assesment*. Proceeding of Sea Technology, Canada.
- Falcão, A. F. de O., 2010. *Wave energy utilization: A review of the technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(3), 899-918, doi:

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.003>.

Hadadpour, S., Etemad-shahidi, A., Jabbari, E., and Kamranzad, B., 2014.

Wave energy and hot spots in Anzali port. Energy, 74, 529-536.

Holthuijsen, L. H., 2007. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge University Press, 387 p.

Jabbar, I.A., and Ningsih, N.S., 2020. *Extreme wave height analysis in Natuna Sea using Peak-Over Threshold method*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 618, 012024, August, 2020, Makassar, Indonesia, 1-12, ISSN: 1755-1315, DOI: 10.1088/1755-1315/618/1/012024.

Kamranzad, B., Etemad-shahidi, A., and Chegini, V., 2017. *Developing an optimum hotspot identifier for wave energy extracting in the Northern Persian Gulf*. Renewable Energy, 114, 59-71.

Lavidas, G., and Venugopal, V., 2017. *Wave energy resource evaluation and characterisation for the Libyan Sea*. International Journal of Marine Energy, 18, 1-14.

Matheus, R., Janssen, M., and Maheshwari, D., 2020. *Data science empowering the public: Data-driven dashboards for transparent and accountable decision-making in smart cities*. Government Information Quarterly, 37(3), p.101284.

Mitra, A., Soman, B., and Singh, G., 2021. *An interactive dashboard for real-time analytics and monitoring of COVID-19 outbreak in India: A proof of*

concept. Preprint arXiv:2108.09937.

Ningsih, N.S., Yamashita, T., and Aouf, L., 2000. *Three-dimensional simulation of water circulation in Java Sea: Influence of wind waves on surface and bottom stresses*. Natural Hazards, 21, Issue 2/3, ISSN: 1573-0840, 0921-030X.

Ningsih, N.S., Suprijo, T., Purnaningtyas, D. W., Rizal, A. M., Yani., L. F., Sari, N. T., and Sanukman, M., 2019. *Ocean energy scientific report*. Research Group of Oceanography-ITB and Korea-Indonesia Marine Technology Cooperation Research Center (MTCRC).

Ningsih, N.S., Hanifah, F., Tanjung, T.S., Yani, L.F., and Azhar, M.A., 2020a. *The effect of tropical cyclone Nicholas (11-20 February 2008) on sea level anomalies in Indonesian waters*. Journal of Marine Science and Engineering, 8, 948, 1-17, ISSN: 2077-1312, DOI: 10.3390/jmse8110948.

Ningsih, N.S., Suprijo, T., Rachmayani, R., Kartadikaria, A.R., Rizal, A. M., Yani., L. F., and Ardiansyah, I., 2020b. *Ocean energy scientific report*. Research Group of Oceanography-ITB and Korea-Indonesia Marine Technology Cooperation Research Center (MTCRC).

Ningsih, N.S., Rachmayani, R., Abdullah, F.A.R., Al-Khan, T.M., dan Azhari, A., 2021. *Pemetaan zonasi dan waktu pelayaran, serta rekomendasi ukuran kapal nelayan di perairan Indonesia sebagai upaya mitigasi dan adaptasi dalam menghadapi kejadian gelombang tinggi*. Laporan Akhir Program Riset ITB 2021, No. Kontrak: 138/IT1.B07.1/TA.00/2021.

- Ningsih, N.S., Rachmayani, R., Al-Khan, T.M., Azhari, A., dan Wardani, C. S., 2022. *Dasbor monitoring berbasis data science untuk mitigasi dan adaptasi kejadian gelombang tinggi di wilayah pengelolaan perikanan (WPP) Indonesia*. Laporan Akhir Program Riset ITB 2022, No. Kontrak: 223/IT1.B07.1/TA.00/2022.
- Rachmayani, R., Ningsih, N.S., and Karyoto, J.A.A., 2021. *Assessment of potential location for ocean wave energy converter installation in southern waters of Lampung, Banten, and Sukabumi*. International Journal on Energy Conversion (I.R.E.CON.), 9(1), DOI: <https://doi.org/10.15866/irecon.v9i1.19127>.
- Rizal, A.M., Ningsih, N.S., Sofian, I., Hanifah, F., and Hilmi, I., 2019. *Preliminary study of wave energy resource assessment and its seasonal variation along the southern coasts of Java, Bali, and Nusa Tenggara Waters*. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 11, 014502, Issue 1, 11, 014502-1-11,014502-13, ISSN: 1941-7012, DOI: 10.1063/1.5034161.
- Rizal, A.M., and Ningsih, N.S., 2020. *Ocean wave energy potential along the west coast of the Sumatra Island, Indonesia*. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy, 6, 2, 137-154, ISSN: 2198-6444; DOI: 10.1007/s40722-020-00164-w.
- Rizal, A.M., and Ningsih, N.S., 2022. *Description and variation of ocean wave energy in Indonesian seas and adjacent waters*. Ocean Engineering, 251 (111086), ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111086>.

- Semedo, A., Suselj, K., Rutgersson, A., and Sterl, A., 2011. *A global view on the wind sea and swell climate and variability from ERA-40*. Journal of Climate, 24, DOI: 10.1175/2010JCLI3718.1.
- Signell, R.P., and Pothina, D., 2019. *Analysis and visualization of coastal ocean model data in the cloud*. Journal of Marine Science and Engineering, 7(4), p.110; DOI: 10.3390/jmse7040110.
- Zuraya, N., 2021. *HNSI: 40 kapal nelayan hilang dan rusak berat akibat Seroja*. Republika, (<https://republika.co.id/berita/daerah/bali-nusa-tenggara/qrnbe383/hnsi-40-kapal-nelayan-hilang-dan-rusak-berat-akibat-seroja>, diakses 12 September 2021).
- World Meteorological Organization, 1998. *Guide to wave analysis and forecasting*. Edisi 2, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Swiss, 159 p.

CURRICULUM VITAE



Nama : **Prof. Dr. Eng. NINING SARI
NINGSIH, M.S.**
Tmpt./tgl lahir : Sukabumi, 18 Januari 1966
NIP : 19660118 199102 2 001
Kel. Keahlian : Oseanografi
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
E-mail : nsningsih@itb.ac.id

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

Jenjang	Perguruan Tinggi	Tahun lulus	Gelar	Bidang
S1	Institut Teknologi Bandung	1990	S.Si.	Oseanografi
S2	Institut Teknologi Bandung	1992	M.S.	Oseanografi Fisika
S3	Kyoto University, Japan	2000	Dr.Eng.	Oseanografi Fisika dan Terapan

II. RIWAYAT PEKERJAAN DI ITB

Unit Kerja	Penugasan	Periode
1. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian	Guru Besar Bidang Oseanografi Fisika	Mei 2021-sekarang
	Anggota Komisi Program Pascasarjana (KPPs) FITB	2021-sekarang
	Anggota Tetap Senat FITB	2016-sekarang
	Ketua Kelompok Keahlian Oseanografi	2016-2018
	Wakil Dekan Bidang Akademik	Agustus 2007-Desember 2010

Unit Kerja	Penugasan	Periode
2. Program Studi Oseanografi	Staf Pengajar	1991-sekarang
	Ketua Program Studi	Januari 2006-Agustus 2007
	Koordinator Seminar	2003-2004
	Sekretaris Program Studi	2001-2002
3. Forum Guru Besar (FGB)	Sekretaris Komisi IV Kegurubesaran	April 2022-sekarang
4. Senat Akademik (SA)	Anggota Komisi III SA	Januari 2022-sekarang
5. Sekolah Pascasarjana	Anggota Komisi Sekolah Pascasarjana (KSPs)	Desember 2021-Sekarang
	Wakil Dekan Bidang Sumber Daya	Januari 2011-Mei 2020
6. Departemen Geofisika dan Meteorologi	Ketua Departemen	Oktober 2004-Desember 2005
	Sekretaris Departemen	April-Oktober 2004
	Ketua Laboratorium Oseanografi Lingkungan	2002-2005
7. Program Studi Magister Oseanografi dan Sains Atmosfer	Ketua Program Studi	Oktober 2004-Desember 2005
	Sekretaris Program Studi	April-Oktober 2004

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

No.	Pangkat	Golongan Ruang	TMT
1.	Penata Muda	III/a	1 Desember 1992
2.	Penata Muda Tk.I	III/b	1 April 1997
3.	Penata	III/c	1 April 2003
4.	Penata Tk.I	III/d	1 April 2007
5.	Pembina	IV/a	1 Oktober 2010
6.	Pembina Tk.1	IV/b	1 Oktober 2021

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

No.	Jabatan Fungsional	TMT
1.	Asisten Ahli Madya	1 Desember 1993
2.	Asisten Ahli	1 Desember 1996
3.	Lektor Kepala	1 Februari 2003
4.	Lektor Kepala	1 Agustus 2006
5.	Lektor Kepala	1 September 2010
6.	Guru Besar	1 Mei 2021

V. VISITING RESEARCH SCHOLARS

No.	Institusi	Periode
1.	North China Sea Marine Forecasting Center (NMFC) of State Oceanic Administration (SOA), China	Januari 2018
2.	The Hydrology and Quantitative Water Management Group at Wageningen University, the Netherlands	September 2015
3.	Graduate School for International Development and Cooperation (IDEC) at Hiroshima University, Japan	Januari-Maret 2012
4.	Twente University, the Netherlands	Mei 2011
5.	Twente University, the Netherlands	Juni 2006
6.	TU Delft, the Netherlands	Mei 2006
7.	Twente University, the Netherlands	Mei-Juli 2005
8.	Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Japan	1996-2000

VI. KEGIATAN PENELITIAN

VI.1. *International Collaborations*

1. World Class Research-the Indonesian Ministry of Research and Technology, **(Research Member; 2021)**: *PAUS ORCA (PAst and fUture Simulations on El Niño- Southern Oscillation impact to Rice agriCulture in IndonesiA)*
2. The Scientific Programme Indonesia-Netherlands (SPIN) ANGIN (Anticipation Grants Indonesia-the Netherlands), **(Co-researcher, 2020)**: *The Post-Plastic Paradise: Reducing Plastic Emission into the Ocean from Java*
3. Marine Technology Cooperation Research Center (MTCRC), **(Principal Investigator; 2019-2020)**: *Ocean Energy Development*
4. Scientific Program Indonesia-Netherlands (SPIN), Wageningen University, the Netherlands, **(Co-researcher; 2013-2017)**: *Multi-Scale Modelling and Monitoring of the Kapuas Land-Sea Continuum*
5. Korean Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), **(Co-researcher; 2015-2016)**: *Study on Establishment of Integrated Coastal Management Program in Jakarta Bay Area, Indonesia (Phase III): Numerical Modeling and Policy Development for Preventing and Reducing Damage Caused by Coastal Inundation in Jakarta*
6. The Mobility Programme of KNAW in the binational cooperation Indonesia-the Netherlands, **(Co-researcher; July 2010-June 2011)**: *Accurate Coastal Wave Modelling and Simulation*

7. Osaka Gas Foundation-Japan, **(Principal Investigator, 2010 - 2011)**: *Modelling of Upwelling Dynamics for Fishery Management Under Climate Changes: Case Study along the Southern Coast of Java*
8. IDEC-Hiroshima University, Japan, **(Co-researcher in the Educational Program, 2008 - 2009)**: *Overseas Collaborator in Global Environmental Leader Education Program for Designing a Low Carbon Society*
9. The Management Unit of the Mathematical Models of the North Sea (MUMM), Department of the Royal Belgian Institute for the Natural Sciences, Belgium, **(Co-researcher, 2008-2011)**: *Biodiversity Programme of the COHERENS (A Coupled Hydrodynamical-Ecological Model for Regional and Shelf Seas) User Group*
10. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences and Foundation for the Advancement of Tropical Research, **(Co-researcher, 2005-2009)**: *Mixing and Dispersion in Marine Waters Surrounding Coral Reefs*
11. APN - Capable Project, **(Research member, 2008)**: *Integrating Indonesian Capacity for Coastal Zone Management*
12. The Indonesian Ministry of Marine Affairs and Fisheries and The First Institute of Oceanography (FIO), SOA, China, **(Expedition member of Oceanographic Joint Cruise, November 2007)**: *Indonesia-China Marine Scientific Expedition 2007: Deploying a*

Subsurface ADCP Mooring System to Measure the Java Upwelling Variations and Impacts on Seasonal Fish Migration

VI.2. Pendanaan Nasional (10 tahun terakhir)

1. Riset Unggulan ITB, **(Peneliti Utama, 2022)**: *Dasbor Monitoring Berbasis Data Science untuk Mitigasi dan Adaptasi Kejadian Gelombang Tinggi di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) Indonesia*
2. Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT)-Kemenristekdikbud, **(Peneliti Utama, 2022)**: *Identifikasi Daerah Rawan Bencana Gelombang Panas dan Dingin di Perairan Indonesia sebagai Upaya Mitigasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ekosistem Terumbu Karang*
3. Penelitian Disertasi Doktor (PDD)-Kemenristekdikbud, **(Peneliti Utama, 2022)**: *Kajian Karakteristik Marine Heatwaves di Wilayah Pengelolaan Perikanan 713 (Selat Makassar, Teluk Bone, Laut Flores, dan Laut Bali) sebagai Upaya Mitigasi terhadap Dampak Perubahan Iklim*
4. Penelitian Dasar (PD)-Kemenristek/BRIN, **(Peneliti Utama, 2019-2021)**: *Studi Pengaruh Reklamasi Teluk Jakarta Terhadap Perubahan Tinggi Muka Laut yang Dibangkitkan Gelombang Badai Pasang Sebagai Upaya Mitigasi Bencana*
5. PDUPT-Kemenristek/BRIN, **(Peneliti Utama, 2019-2021)**: *Analisis Lokasi Pemasangan Wave Energy Converter (WEC) yang Paling Potensial di Perairan Selatan Lampung, Banten, dan Sukabumi*

6. Riset Unggulan ITB, **(Peneliti Utama, 2021)**: *Pemetaan Zonasi dan Waktu Pelayaran, serta Rekomendasi Ukuran Kapal Nelayan di Perairan Indonesia sebagai Upaya Mitigasi dan Adaptasi dalam Menghadapi Kejadian Gelombang Tinggi*
7. PDD-Kemenristek/BRIN, **(Peneliti Utama, 2021)**: *Pelemahan Intensitas Arlindo di Selat Makassar pada Deglasiasi Terakhir*
8. PPMI-ITB, **(Anggota Peneliti, 2021-2022)**: *Dinamika Marine Heatwaves di Perairan Indonesia dan Dampaknya terhadap Upwelling*
9. Penelitian Kerja Sama Antar Perguruan Tinggi-DIKTI, **(Peneliti Utama Mitra, 2019-2020)**: *Pengaruh Dinamika Hidro-Oseanografi dan Sedimen Transpor terhadap Perubahan Morfologi Dasar Laut di Teluk Balikpapan*
10. P3MI-ITB, **(Anggota Peneliti, 2020)**: *Prediksi Perubahan Ekosistem di Teluk Balikpapan Sehubungan dengan Pembangunan Ibu Kota Negara Baru*
11. P3MI-ITB, **(Anggota Peneliti, 2019)**: *Paleo Proxy Sediment Data Analysis in Indonesian Waters during Holocene (9000-6000 ka)*
12. P3MI-ITB, **(Anggota Peneliti, 2018)**: *Intra-Interglacial Climate variability in Indonesia: Model simulations at Marine Isotope Stage (MIS) 1, 5, 11, 13, and 15*
13. P3MI-ITB, **(Anggota Peneliti, 2017)**: *Variabilitas Energi Gelombang di Selat Sunda*
14. PUPT-DRPM-DIKTI, **(Peneliti Utama, 2017)**: *Pemetaan Potensi*

Energi Gelombang sebagai Sumber Energi Tebarukan di Sepanjang Pantai Barat Sumatra dan Selatan Jawa

15. Riset Desentralisasi-DIKTI, **(Peneliti Utama, 2014-2016)**: *Variabilitas dan Intensitas Upwelling di Laut Banda untuk Pengelolaan Perikanan Dalam Rangka Adaptasi Sistem Pangan Terhadap Perubahan Iklim*
16. Riset KK dan Inovasi-ITB Batch I, **(Peneliti Utama, 2015)**: *Identifikasi Variasi Decadal dan Interdecadal dari Kesuburan Perairan Berdasarkan Parameter Temperatur Permukaan Laut Dalam Rangka Menuju Pengelolaan Sumber Daya Perikanan yang Berkelanjutan (Studi Kasus: Perairan Selatan Jawa)*
17. Riset KK dan Inovasi-ITB Batch II, **(Peneliti Utama, 2014)**: *Studi Variabilitas Eddy untuk Mengidentifikasi Kesuburan Perairan Sebagai Upaya Memperkuat Ketahanan Pangan Nasional (Studi Kasus: Perairan Selatan Jawa)*
18. Balai Penelitian dan Observasi Laut (BPOL)-KKP, **(Research Supervisor, 2014)**: *Pengembangan Model Biofisika Laut untuk Memprediksi Produktivitas Primer Kaitannya dengan Kelimpahan Tuna, Tongkol, dan Cakalang*
19. P3GL-Kementerian ESDM, **(Tenaga Ahli Peneliti, 2014)**: *Pemanfaatan Potensi Energi Arus Laut di Selat Boleng, Molo, and Pantar, dan Perairan Riau*
20. Hibah Strategis Nasional-DIKTI, **(Peneliti Utama, 2012)**: *Sistem*

Informasi Daerah Rawan Bencana Storm Tide dan Rob di Pesisir Utara Jawa dengan Menggunakan Model Kopel Hidrodinamika dan Spektrum Gelombang untuk Mitigasi dan Antisipasi Terhadap Perubahan Iklim

21. Riset KK dan Inovasi ITB, (**Peneliti Utama, 2012**): *Kajian Dampak Perubahan Iklim Terhadap Dinamika Upwelling Sebagai Dasar untuk Memperkirakan Pola Migrasi Ikan Tuna di Perairan Selatan Jawa-Nusa Tenggara Barat dengan Menggunakan Model Transpor Temperatur Laut*

VII. PUBLIKASI

VII.1. Jurnal Internasional (*selected*)

1. Rizal, A.M., and **Ningsih, N.S.**, *Description and variation of ocean wave energy in Indonesian seas and adjacent waters*. Ocean Engineering, Vol. 251 (111086), **2022**, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111086>.
2. Abdullah, F.A.R., **Ningsih, N.S.**, and Al-Khan, T.M., *Significant wave height forecasting using long short-term memory neural network in Indonesian waters*. J. Ocean Eng. Mar. Energy, 8, **2022**, 183-192, <https://doi.org/10.1007/s40722-022-00224-3>.
3. Yulihastin, E., Hadi, T. W., Abdillah, M. R., Fauziah, I. R. , and **Ningsih, N. S.**, *Propagation of convective systems associated with early morning precipitation and different northerly background winds over western Java*. J. Meteor. Soc. Japan, 100 (1), **2022**, 99-113, doi:10.2151/jmsj.2022-005.

4. **Ningsih, N.S.**, Sakina, S.L., Susanto, R.D., and Hanifah, F., *Simulated zonal current characteristics in the Southeastern Tropical Indian Ocean (SETIO)*. Ocean Science, 17(4), **2021**, DOI: <https://doi.org/10.5194/os-17-1115-2021>.
5. Rachmayani, R., **Ningsih, N.S.**, Ardiansyah, I., Yani, L.F., Rizal, A.M., Kartadikaria, A.R., Sari, N.T, and Park, H., *Utilization and linkage of oceanic energy in Natuna Island: A review*. In: Lee, J.L., Suh, K.-S., Lee, B., Shin, S., and Lee, J. (eds.), Crisis and Integrated Management for Coastal and Marine Safety. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 114, pp. 599-603, **2021**, Coconut Creek (Florida), ISSN: 0749-0208, <https://doi.org/10.2112/JCR-SI114-121.1>.
6. Vriend P., Hidayat H., van Leeuwen J., Cordova M.R., Purba N.P., Löhr A.J., Faizal I., **Ningsih N.S.**, Agustina K., Husrin S., Suryono D.D., Hantoro I., Widianarko B., Lestari P., Vermeulen B., and van Emmerik T., *Plastic pollution research in Indonesia: State of science and future research directions to reduce impacts*. Frontiers in Environmental Science, 9 (692907), **2021**, DOI: 10.3389/fenvs.2021.692907.
7. Rachmayani, R., **Ningsih, N.S.**, and Karyoto, J.A.A., *Assessment of potential location for ocean wave energy converter installation in Southern Waters of Lampung, Banten, and Sukabumi*. International Journal on Energy Conversion (I.R.E.CON.), 9(1), **2021**, DOI:

<https://doi.org/10.15866/irecon.v9i1.19127>.

8. Kisnarti, E. A., **Ningsih, N. S.**, Putri, M. R., and Hendriati, N., *Current dynamics and water column stability in Indonesian Waters based on hydrodynamics model*. Indonesian Journal of Geography, Vol. 53, No. 2, **2021**, ISSN: 00249521, <https://doi.org/10.22146/ijg.58091>.
9. **Ningsih, N.S.**, Hanifah, F., Tanjung, T.S., Yani, L.F., and Azhar, M.A., *The effect of tropical cyclone Nicholas (11-20 February 2008) on sea level anomalies in Indonesian Waters*. Journal of Marine Science and Engineering, 8(11): 948, **2020**, <https://doi.org/10.3390/jmse8110948>.
10. Hendrizan, M., **Ningsih, N.S.**, Cahyarini, S.Y., Putri, M.R., Setiadi, B., Anwar, I.P., Utami, D.A., and Agusta, V.C., *Centennial-millennial climate variability in the Makassar Strait during early Holocene until the end of the last deglaciation*. International Journal of Oceans and Oceanography, ISSN 0973-2667, 14 (2), **2020**, 197-220, <https://dx.doi.org/>
11. Rizal, A.M., and **Ningsih, N.S.**, *Ocean wave energy potential along the west coast of the Sumatra Island, Indonesia*. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy, Vol. 6, Issue 2, **2020**, 137-154. ISSN: 2198-6444, DOI: 10.1007/s40722-020-00164-w.
12. Yulihastin, E., Hadi, T.W., **Ningsih, N.S.**, and Syahputra, M.R., *Early morning peaks in the diurnal cycle of precipitation over the*

northern coast of West Java and possible influencing factors. Annales Geophysicae, Vol. 38, Issue 1, **2020**, 231-242. ISSN 0992-7689, DOI: 10.5194/angeo-38-231-2020.

13. Rachmayani, R., Prange, M., Schulz, M., and **Ningsih N.S.**, *Climate variability in Indonesia from 615 ka to present: First insight from Low-resolution couple model simulations*. *ERDE - Journal of the Geographical Society of Berlin*, Vol. 150, No. 4, **2019**, 230-240. ISSN 00139998, DOI: 10.12854/erde-2019-428.
14. Kästner, K., Hoitink, A.J.F., Torfs, P.J.J.F., Deleersnijder, E., and **Ningsih, N.S.**, *Propagation of tides along a river with a sloping bed*. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 872, **2019**, 39-73. ISSN 0022-1120, DOI: 10.1017/jfm.2019.331
15. Rizal, A.M., **Ningsih, N.S.**, Sofian, I., Hanifah, F., and Hilmi, I., *Preliminary study of wave energy resource assessment and its seasonal variation along the southern coasts of Java, Bali, and Nusa Tenggara waters*. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 11, No. 014502, Issue 1, **2019**, 1-13. ISSN 1941-7012, DOI: 10.1063/1.5034161.
16. Kästner, K., Hoitink, A.J.F., Torfs, P.J.J.F., Vermeulen, B., **Ningsih, N.S.**, and Pramulya, M., *Prerequisites for accurate monitoring of river discharge based on fixed-location velocity measurements*. *Water Resources Research*, Vol. 54, Issue 2, **2018**, 1058-1076. ISSN: 0043-1397, DOI: 10.1002/2017WR020990.

17. Hidayat, H., Teuling, A.J., Vermeulen, B., Taufik, M., Kastner, K., Geertsema, T.J., Bol, D.C.C., Hoekman, D.H., Haryani, G. S., Van Lanen, H.A.J., Delinom, R.M., Dijkstra, R., Anshari, G.Z., **Ningsih, N.S.**, Uijlenhoet, R., and Hoitink, A.J.F., *Hydrology of inland tropical lowlands: the Kapuas and Mahakam wetlands*. Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 21, Issue 5, **2017**, 2579-2594. ISSN 1027-5606, DOI: 10.5194/hess-21-2579-2017.
18. Kästner, K., Hoitink, A.J.F., Vermeulen, B., Geertsema, T.J., and **Ningsih, N.S.**, *Distributary channels in the fluvial to tidal transition zone*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 122, Issue 3, **2017**, 696-710. ISSN 2169-9003, DOI: 10.1002/2016JF004075.
19. Hanifah, F., and **Ningsih, N.S.**, *The characteristic of eddies in the Banda Sea*. Advances and Applications in Fluid Mechanics, Vol. m19, No. 4, **2016**, 889-902. ISSN 0973-4686, DOI: 10.17654/FM019040889.
20. **Ningsih, N.S.**, Rakhmaputeri, N., and Harto, A.B., *Upwelling variability along the southern coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters*. Ocean Science Journal, Vol. 48, No. 1, **2013**, 49-57. ISSN 1738-5261, DOI: 10.1007/s12601-013-0004-3.
21. **Ningsih, N.S.**, and Azhar, M.A., *Modelling of hydrodynamic circulation in Benoa Bay, Bali*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 18, No. 2, **2013**, 203-212. ISSN 0948-4280, DOI: 10.1007/s00773-012-0195-9.

22. **Ningsih, N.S.**, Hadi, S., Utami, M.D., and Rudiawan, A.P., *Modelling of storm tide flooding along the southern coast of Java, Indonesia*. Advances in Geosciences, Vol. 24: Ocean Science (OS), Eds. Satake, K., and Gan, J., **2011**, 87-104. Book Chapter. ISBN 978-981-4355-34-6, DOI: 10.1142/9789814355353_0006.
23. Mashuri, Liam, S. L, Andonowati, and **Ningsih, N.S.**, *On nonlinear bi-chromatic wave group distortions*. Far East Journal of Applied Mathematics, Vol. 49, Issue 2, **2010**, 86-106. ISSN 0972-0960.
24. **Ningsih, N.S.**, Yamashita, T., and Aouf, L., *Three-dimensional simulation of water circulation in Java Sea: Influence of wind waves on surface and bottom Stresses*". Natural Hazards, Vol. 21, Issue 2/3, May **2000**. ISSN: 1573-0840, 0921-030X.

VII.2. Jurnal Nasional (*selected*)

1. Kisnarti, E. A., **Ningsih, N.S.**, Putri, M.R, and Hendiarti, N., *The movement of plastic marine debris in Indonesian seas using a trajectory model*. Jurnal Segara, Vol 17. No 3. Desember **2021**, 145-154, ISSN: 1907-0659, e-ISSN : 2461-1166, DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/segara.v17i3.10283>.
2. Abdurrahman, U., **Ningsih, N.S.**, Suprijo, T., dan Tarya, A., *Analisis perubahan garis pantai akibat pembangunan jetty di wilayah pantai Karangsang, Indramayu, Indonesia*. Bulletin of Geology, Vol. 5, No. 2, 2021, 628-637. e-ISSN 2580-0752, DOI: 10.5614/bull.geol.2021.5.2.5.

3. Khoirunnisa, H., Rachman, R.A., **Ningsih, N.S.**, dan Syamsudin, F., *Role of decadal Kelvin wave in the western of Sumatra and along the south coast of Java using frequency-wavenumber 2D spectral analysis*. Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology, Vol. 5, No. 1, Maret, **2020**, 40-46; UIR PRESS; ISSN: 2503-216X; DOI: 10.25299/jgeet.2020.5.1.3889.
4. Hermansyah, H., **Ningsih, N.S.**, Nabil, Tarya, A., dan Syahrudin, *Numerical modeling of tidal current patterns using 3-Dimensional MOHID in Balikpapan Bay, Indonesia*. Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan, Vol. 12, No. 1, **2020**, Pages 9-20. ISSN 2085-5842, DOI: 10.20473/jipk.v12i1.16257.
5. Kushadiwijayanto, A.A., **Ningsih, N.S.**, dan Azhar, M.A., *Analisis sensitifitas model pasang surut di Laut Indonesia bagian timur menggunakan ROMS_Agrif*. Jurnal Fisika Flux, Vol. 16, No. 2, **2019**, 69-77. ISSN 1829-796X, DOI:10.20527/flux.v16i2.5439.
6. **Ningsih, N.S.**, Rachman, A., Hadi, S., dan Hanifah, F., *Dinamika seas dan swell dari Laut Cina Selatan ke Teluk Jakarta studi kasus kejadian badai Hagibis, November 2007*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 26, No. 1, **2019**, 59-66. ISSN 0853-2982, DOI:10.5614/jts.2019.26.1.8.
7. **Ningsih, N.S.**, Hanifah, F., dan Kusmarani, A.M., *Peranan dinamika oseanografi dalam pengelolaan sumber daya perikanan*. Journal of Fisheries and Marine Research, Vol. 2, No. 2, **2018**, 116-127. ISSN 2581-0294, DOI:10.21776/ub.jfmr.2018.002.02.8.

8. Hanifah, F., dan **Ningsih, N.S.**, *Identifikasi tinggi dan jarak genangan daerah rawan bencana rob di wilayah pantai utara Jawa yang disebabkan gelombang badai pasang dan variasi antartahunan*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 25, No. 1, **2018**, 81-86. ISSN 0853-2982, DOI:10.5614/jts.2018.25.1.10.
9. Kunarso, Hadi, S., **Ningsih, N.S.**, dan Baskoro, M.S., *Perubahan kedalaman dan ketebalan termoklin pada variasi kejadian ENSO, IOD dan monsun di perairan selatan Jawa hingga Pulau Timor*. Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 17, No. 2, **2012**, 87-98. ISSN 0853-7291, DOI: 10.14710/ik.ijms.17.2.87-98.
10. Kunarso, Hadi, S., **Ningsih, N.S.**, dan Baskoro, M.S., *Variabilitas suhu dan klorofil-a di daerah upwelling pada variasi kejadian ENSO dan IOD di perairan selatan Jawa sampai Timor*. Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 16, No. 3, **2011**, 171-180. ISSN 0853-7291, DOI: 10.14710/ik.ijms.16.3.171-180.
11. **Ningsih, N.S.**, Hadi, S., Utami, M.D., Harto, A.B., dan Rudiawan, A.P., *Kajian daerah rawan bencana gelombang badai pasang (storm tide) di kawasan pesisir selatan Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara Barat*. Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 15, No. 4, **2010**, 179-193. ISSN 0853-7291, DOI: 10.14710/ik.ijms.15.4.179-193.

VII.3. Buku

1. **Ningsih, N.S.**, Ardiansyah, I., dan Sembiring, L.E., *Pengaruh pasang surut terhadap evolusi spektrum energi gelombang di kawasan*

reklamasi pantai utara Jakarta dan sekitarnya. Buku Bunga Rampai Riset Kelompok Keahlian Oseanografi Institut Teknologi Bandung 2021. Ed.: Diastomo, H., Penerbit: ITB Press, ISBN: 978-623-297-223-0, **2022.**

2. **Ningsih, N.S.,** *Gelombang badai pasang. Buku: Mengelola risiko bencana di negara maritim Indonesia (Jilid 2): Bencana kebakaran, kelautan, dan atmosferik.* Ed.: Zen, M.T., Abdassah, D., Grandis, H., Widiyantoro, S., Hadi, S., Soekarno, I., Tjasyono HK, B., Pribadi, K., dan Sengara, W. I, Majelis Guru Besar ITB, LPPM-ITB, dan CV. Mandiri Utama, ISBN 979-1344-77-9, **2010.**
3. Kunarso, Hadi, S., **Ningsih, N.S.,** Supangat, A., *Upwelling dan fishing ground tuna di laut nusantara.* Badan Penerbit Universitas Diponegoro, ISBN:978.979.704.717.7, **2009.**

VII.4. Prosiding Internasional

1. Fauzah, S., Tarya, A., **Ningsih, N.S.,** *The hydrodynamics simulation of tidal current in Balikpapan Bay.* 2021 IEEE Ocean Engineering Technology and Innovation Conference (OETIC): Ocean Observation, Technology and Innovation in Support of Ocean Decade of Science (OETIC), **2021**, ISBN: 978-1-6654-2091-4, DOI: 10.1109/OETIC53770.2021.9733735.
2. Fauzah, S., Tarya, A., and **Ningsih, N.S.,** *Three-dimensional numerical modelling of tidal current in Balikpapan Bay using Delft3D.* IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 925, **2021,**

012051, doi:10.1088/1755-1315/925/1/012051.

3. Kisnarti, E. A., **Ningsih, N.S.**, Putri, M.R, and Hendiarti, N., and Box, C., *Microplastic observations in the waters of Labuan Bajo-Gili Trawangan, Indonesia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 925, **2021**, 012043, doi:10.1088/1755-1315/925/1/012043.
4. Hendrizan, M., Cahyarini, S.Y., **Ningsih, N.S.**, and Rachmayani, R., *Indonesian throughflow intensity and sea surface temperature anomaly since the last deglaciation: An overview*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 789, **2021**, 012053, doi:10.1088/1755-1315/789/1/012053.
5. Ardiansyah, I., **Ningsih, N.S.**, and Rachmayani, R., *Wave characteristics in Natuna waters during typhoon Hagibis event*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 618, **2020**, 012001, doi:10.1088/1755-1315/618/1/012001.
6. Kuntoro, W.S., and **Ningsih, N.S.**, Rachmayani, R., *Seasonal wave characteristics in southern Bali waters in 2014*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 618, **2020**, 012002, doi:10.1088/1755-1315/618/1/012002.
7. Jabbar, I.A., and **Ningsih, N.S.**, *Extreme wave height analysis in Natuna Sea using Peak-over Threshold method*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 618, **2020**, 012024 doi:10.1088/1755-1315/618/1/012024.
8. Kunarso,, Hadi, S., **Ningsih, N.S.**, N., Baskoro, M. S., Wirasatriya,

- A., Kuswardani, A.R.T.D., *The classification of upwelling indicators base on sea surface temperature, chlorophyll-a and upwelling index, the case study in southern Java to Timor waters*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 530, **2020**, 012020 doi:10.1088/1755-1315/530/1/012020.
9. **Ningsih, N.S.**, Kusmarani, A.M., and Hanifah, F., *Kelvin wave propagation along the southern coasts of Sumatra, Java, and Lesser Sunda Islands generated by Madden-Julian Oscillation (MJO) Phase 3*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 339, No. 012029, Issue 1, **2019**, 1-7, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/339/1/012029.
 10. Abdullah, F.A.R., **Ningsih, N.S.**, and Rachmayani, R., *Numerical simulation of tidal bore in Kampar River: A preliminary study*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 339, No. 012022, Issue 1, **2019**, 1-9, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/339/1/012022.
 11. **Ningsih, N.S.**, Siddiq, N.L., and Tarya, A., *A numerical study of tidal bores*. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1245, No. 012059, Issue 1, **2019**, 1-11, ISSN 1742-6588, DOI: 10.1088/1742-6596/1245/1/012059.
 12. Tarya, A., Sunaringati, L.C., and **Ningsih, N.S.**, *Mangrove density impacts on tidal dynamic in Segara Anakan Lagoon, Indonesia*. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1245, No. 012060, Issue 1, **2019**,

1-7, ISSN 1742-6588, DOI: 10.1088/1742-6596/1245/1/012060.

13. Yulihastin, E., Hadi, T.W., and **Ningsih, N.S.**, *Diurnal rainfall propagation relate to cold surge-cold tongue interaction over the northern coast of West Java*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 303, No. 012007, Issue 1, **2019**, 1-8, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/303/1/012007.
14. Triasdian, B., Indartono, Y.S., **Ningsih, N.S.**, and Novitasari, D., *Device selection of the potential wave energy site in Indonesian seas*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 291, No. 012040, Issue 1, **2019**, 1-7. ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/291/1/012040.
15. Triasdian, B., Indartono, Y.S., and **Ningsih, N.S.**, *Energy capture potential of existing wave energy converters for Indonesian sea*. AIP Conference Proceedings, Vol. 1984, No. 030002, **2018**, 1-10, ISBN 978-0-7354-1700-7, DOI: 10.1063/1.5046623.
16. Nurfitri, S., **Ningsih, N.S.**, Sentanu, A.N., and Rachmayani, R., *Numerical modeling of wave-current interaction in Merak port, Indonesia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 162, No. 012007, Issue 1, **2018**, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/162/1/012007.
17. Hilmi, I., **Ningsih, N.S.**, Sofian, I., Hanifah, F., and Rizal, A.M., *The study of MJO impact on wave height and wind speed in Indonesian seas*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 162,

No. 012004, Issue 1, **2018**, 1-12, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/162/1/012004.

18. Rachmayani, R., **Ningsih, N.S.**, Adiprabowo, S.R., and Nurfitri, S., *Ocean wave characteristic in the Sunda Strait using wave spectrum model*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol.139, No. 012025, Issue 1, **2018**, 1-8, ISSN 1755-1307, DOI: 10.1088/1755-1315/139/1/012025.
19. Rachmayani, R., **Ningsih, N.S.**, Ramadhan, H., and Nurfitri, S., *Analysis of ocean wave characteristic in western Indonesian seas using wave spectrum model*. MATEC Web of Conferences, Vol. 147, No. 05001, **2018**, 1-12, ISSN 2261236X, DOI: 10.1051/mateccom/201814705001.
20. Yulihastin, E., **Ningsih, N.S.**, and Hadi, T.W., *Identification of changing in diurnal pattern of rainfall in case of flooding in northern coastal of west Java 2014*. Proceedings of the 6th International Symposium for Sustainable Humanosphere [ISSH]-A Forum of the Humanosphere Science School [HSS], **2017**, 83-90, ISSN 2579-5554.
21. Hanifah, F., **Ningsih, N.S.**, and Sofian, I., *Dynamics of eddies in the southeastern tropical Indian Ocean*. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 739, No. 012042, Issue 1, **2016**, 1-10, ISSN 1742-6588, DOI: 10.1088/1742-6596/739/1/012042.
22. Kastner, K., Hoitink, A.J.F., Vermeulen, B., Hidayat, Sassi, M.G.,

Pramulya, M., and **Ningsih, N.S.**, *Comparison of discharge estimates from a rating curve and ADCP measurements*. Proceedings of the 36th IAHR World Congress: Deltas of the Future and What Happens Upstream, **2015**, 6671-6677, ISBN 978-90-824846-0-1.

VII.5. Prosiding Nasional

1. Muhammad, F.H., Tarya, A., dan **Ningsih, N.S.**, *Studi profil vertikal kecepatan arus di perairan sekitar Kepulauan Derawan, Kalimantan Timur, Indonesia*. Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan IV, **2019**, 126-133, ISBN 978-602-19131-7-8.
2. Tarya, A., Sunaringati, L.C., dan **Ningsih, N.S.**, *Identifikasi pengaruh kerapatan mangrove terhadap dinamika pasang surut di Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah*. Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan IV, **2019**, 54-64, ISBN 978-602-19131-7-8.
3. Hanifah, F., dan **Ningsih, N.S.**, *Variasi musiman dan tren jangka panjang (1950-2013) eksistensi eddies di Laut Banda*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan (PIT) XIII ISOI 2016, **2017**, 278-288, ISBN 978-602-18153-7-3.
4. Khoirunnisa, H., **Ningsih, N.S.**, dan Syamsudin, F., *Eksistensi gelombang Kelvin antartahunan dan gelombang Rossby dekadal di perairan selatan Jawa*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Tahunan (PIT) XIII ISOI 2016, **2017**, 329-341, ISBN 978-602-18153-7-3.
5. Kunarso dan **Ningsih, N.S.**, *Memahami distribusi temporal*

upwelling pada variabilitas ENSO di Indonesia untuk memperkirakan waktu musim ikan tuna big eye. Prosiding Seminar Nasional Tahunan ke-IV: Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan Tahun 2014, **2015**, 123-130, ISBN 2339-0883.

6. Prianto, A., **Ningsih, N.S.**, Sofian, I., dan Hanifah, F., *Variabilitas transpor arus lintas Indonesia total: 1948-2011*. Prosiding Seminar Nasional Kelautan Poseidon 2012, **2013**, 114-127, ISSN 2338-2406.
7. Widyastuti, M.S, **Ningsih, N.S.**, dan Risnadi, R., *Karakteristik pasang surut di Delta Mahakam (studi kasus di Bekapai dan Tunu)*. Prosiding Seminar Nasional Kelautan Poseidon 2012, **2013**, 27-36. ISSN 2338-2406.
8. Jumarang, M.I., Muliadi, **Ningsih, N.S.**, Hadi, S., dan Martha, D., *Studi hidrodinamika perairan estuari Sungai Kapuas Kalimantan Barat*. Prosiding Bidang Fisika Seminar dan Rapat Tahunan (Semirata), **2012**, 218-224, ISBN 978-602-9115-21-5.

VIII. PENGHARGAAN

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Penghargaan Institut Teknologi Bandung dalam rangka kegiatan Dies ITB ke-63 Bidang Penelitian	Rektor ITB	2022
2.	<i>Best Paper Award: The Hydrodynamics Simulation of Tidal Current in Balikpapan Bay</i>	Chair of IEEE OESTEMS and Chair of OETIC 2021	2021
3.	Penghargaan Pengabdian 25 Tahun Institut Teknologi Bandung	Rektor ITB	2016

No.	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
4.	Penghargaan SATYALANCANA KARYA SATYA XX TAHUN	Presiden RI	2014
5.	Penghargaan sebagai <i>co-author</i> buku <i>Upwelling dan Fishing Ground Tuna di Laut Nusantara</i>	Rektor UNDIP	2009
6.	Penghargaan SATYALANCANA KARYA SATYA X TAHUN	Presiden RI	2006

IX. SERTIFIKASI

1. Sertifikasi Dosen, 2009. Kementerian Pendidikan Nasional



Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung

Jalan Dipati Ukur No. 4, Bandung 40132

Telp. (022) 2512532, E-mail: sekretariat-fgb@pusat.itb.ac.id



 fgb.itb.ac.id

 [FgbItb](https://www.facebook.com/FgbItb)

 [FGB_ITB](https://twitter.com/FGB_ITB)

 [@fgbitb_1920](https://www.instagram.com/fgbitb_1920)

 [Forum Guru Besar ITB](https://www.youtube.com/ForumGuruBesarITB)