

KARAKTERISTIK ARAH DAN TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN DI LAUT SULAWESI

(Waves Direction and Significant Wave Height Characteristic in The Celebes Sea)

Godwin Parulian Tindaon^{1*}, Ping Astony Angmalisang¹, Royke M. Rampengan¹, Ricky Daniel Aror², Rignolda Djamaluddin¹, Hermanto W.K. Manengkey¹, Edwin L.A.Ngangi³

1. Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK, UNSRAT Manado
2. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Bitung
3. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, FPIK, UNSRAT Manado

*Penulis korespondensi: Godwin P. Tindaon; godwintindaon@gmail.com

ABSTRACT

The Celebes Sea is an important area in terms of utilization of coastal and sea space. This study aims to describe the direction characteristics and significant wave heights in several areas of the Celebes Sea in various seasons and to analyze the characteristics of daily and monthly waves. The wave data used in this study is the result of *Wavewatch-III* wave predictions with a wave data duration of 2 years, January 2020 - December 2021. The areas that are the observation area are Station 1 (3°N 121°E), Station 2 (3° N 123° E), and Station 3 (3° N 125° E). Through the spatial-temporal analysis method, the results are presented in the form of a rose graph of the direction of the incoming wave. The most wave propagation directions that occur at the three coordinate points (Stations) for 2020 to 2021 come from the North and Northeast. The proportion of significant wave height above 1 meter indicates that the largest waves proportion has been in 2020 at the beginning of the year while in 2021 at the end of the year. Significant wave heights in 2020 occurred most strongly in the North season at the beginning of the year while in 2021 the strongest significant wave heights occurred in the North season at the end of the year. Besides the proportion of significant wave height occurrences in the South season, especially May and July in 2021. Analysis of daily waves at the overall measurement time shows that the direction of propagation of the waves has no difference based on different years. Daily significant wave heights above 2 meters have a tendency to occur in the morning to evening in 2020.

Keywords: Waves, Wavewatch-III, Celebes Sea

ABSTRAK

Laut Sulawesi merupakan kawasan penting dalam hal pemanfaatan ruang pantai dan laut. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan karakteristik arah, dan tinggi gelombang signifikan di beberapa kawasan Laut Sulawesi dalam berbagai musim yang berlangsung serta menganalisis karakteristik gelombang harian dan bulanan. Data gelombang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil prediksi gelombang *Wavewatch-III* dengan durasi waktu data gelombang 2 tahun, Januari 2020 - Desember 2021. Daerah yang menjadi area pengamatan yaitu Stasiun 1 (3°LU 121°BT), Stasiun 2 (3°LU 123° BT), dan Stasiun 3 (3°LU 125° BT). Melalui metode analisis spasial-temporal hasilnya disajikan dalam bentuk grafik mawar arah datang gelombang. Arah rambat gelombang terbanyak yang terjadi di ketiga titik koordinat (Stasiun) untuk tahun 2020 sampai 2021 datang dari arah Utara dan Timur Laut. Proporsi tinggi gelombang signifikan di atas 1 meter menunjukkan tahun 2020 paling besar proporsinya pada awal tahun sementara pada tahun 2021 pada akhir tahun. Tinggi gelombang signifikan pada tahun 2020 terjadi paling kuat pada musim Utara awal tahun sementara pada tahun 2021 tinggi gelombang signifikan paling kuat terjadi pada musim Utara akhir tahun disamping proporsi kejadian tinggi gelombang signifikan pada musim Selatan khususnya Mei dan Juli di tahun 2021. Analisis gelombang harian pada keseluruhan waktu pengukuran menunjukkan bahwa arah rambat gelombang tidak memiliki perbedaan berdasarkan tahun yang berbeda. Tinggi gelombang signifikan harian di atas 2 meter memiliki kecenderungan terjadi pada pagi sampai sore hari pada tahun 2020.

Kata Kunci: Gelombang, Wavewatch-III, Laut Sulawesi

PENDAHULUAN

Gelombang merupakan salah satu faktor oseanografi fisik dinamis yang terjadi di lautan, selain pasang surut dan arus. Gelombang sangat mempengaruhi laut dan mempengaruhi masyarakat yang melakukan aktivitas di wilayah pesisir hingga ke laut.

Gelombang terbentuk akibat beberapa faktor. Gelombang laut pada umumnya timbul oleh pengaruh angin, walaupun masih ada faktor-faktor lain yang dapat menimbulkan gelombang di laut seperti aktifitas seismik di dasar laut (gempa), letusan gunung api, gerakan kapal, gaya tarik benda angkasa (bulan dan matahari) (Nining, 2002). Gelombang akibat angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di laut jika ditinjau dari frekuensi kejadiannya (Kurniawan *et al.*, 2011).

Menurut Kurniawan *et al.* (2012), gelombang memengaruhi transportasi laut antar pulau dan aktivitas nelayan. Disampaikan juga oleh Ginanjar *et al.* (2020), Gelombang juga merupakan faktor penting dalam pelayanan informasi meteorologi kelautan, karena memiliki dampak yang cukup tinggi terhadap aktivitas kelautan. Informasi dan pemahaman menyangkut kondisi gelombang di perairan sangat dibutuhkan dalam kaitannya dengan pemanfaatan ruang pantai dan laut.

Laut Sulawesi merupakan bagian dari wilayah ekosistem laut Indonesia yang memiliki peran penting dalam kegiatan perikanan (Triyulianti *et al.*, 2018). Mengingat Laut Sulawesi merupakan wilayah yang penting dalam hal pemanfaatan ruang pesisir dan laut, maka sangat penting untuk membangun informasi ketinggian gelombang laut di wilayah ini. Berbagai aktivitas kelautan berlangsung di Kawasan ini, terutama yang berkaitan dengan transportasi dan penangkapan ikan. Pada penelitian sebelumnya, Aror *et al.* (2019) juga menggunakan data gelombang *Wavewatch-III* (WW3) mendapatkan hasil bahwa gelombang tinggi yang terjadi di Perairan Utara Sulawesi sangat dipengaruhi juga dengan adanya sistem sirkulasi tekanan rendah yang terjadi di sekitar wilayah tersebut.

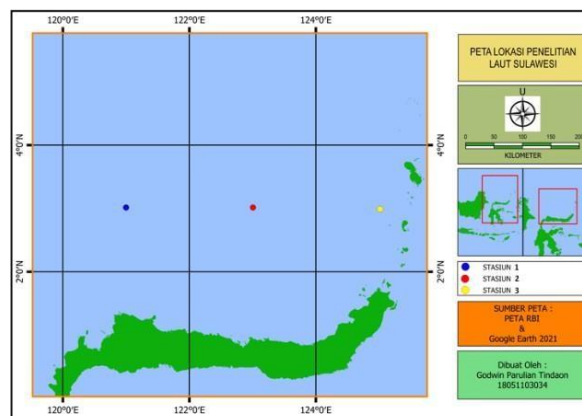
Pemahaman menyangkut karakteristik gelombang perairan akan lebih bermakna apabila informasinya dihadirkan dalam aspek temporal yang cukup panjang. Hal tersebut dapat dipahami bahwa karakteristik dari berbagai faktor oseanografi fisik dapat menyimpulkan fenomena alam yang terjadi dalam musim yang berlangsung atau kurun waktu tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mendeskripsikan karakteristik arah dan tinggi gelombang signifikan di beberapa kawasan Laut Sulawesi selama tahun 2020 hingga tahun 2021, 2) menganalisis karakteristik arah dan tinggi gelombang signifikan dalam skala temporal bulanan pada beberapa titik koordinat di kawasan Laut Sulawesi, 3) menganalisis karakteristik arah dan tinggi gelombang signifikan harian dan musiman pada beberapa titik koordinat di kawasan Laut Sulawesi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data gelombang model WW3 dari BMKG pada beberapa stasiun yang terdapat di kawasan Laut Sulawesi. Oleh karena itu, stasiun penelitian ditetapkan sebanyak 3 (tiga) yaitu Stasiun 1 (3°LU 121°BT), Stasiun 2 (3°LU 123° BT), dan Stasiun 3 (3°LU 125° BT). Durasi waktu data gelombang yang digunakan selama 2 tahun, mulai bulan Januari 2020 sampai Desember 2021.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan

Kegiatan penelitian yang dilakukan menggunakan sejumlah peralatan dan bahan yang diuraikan dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Nama Alat dan Bahan	Fungsi
1.	Data Gelombang	Bahan data dalam kegiatan penelitian.
2.	Perangkat Lunak Phytton	Perangkat lunak mengakses dan mengunduh data gelombang.
3.	Perangkat Lunak Microsoft Office (Word dan Excel)	Perangkat lunak untuk melakukan pengolahan data gelombang serta pelaporan hasil.
4.	Perangkat Lunak OriginPro 2021	Untuk menghasilkan grafik yang mendeskripsikan arah datang gelombang
5.	Perangkat Lunak Quantum GIS	Perangkat lunak untuk menghasilkan peta lokasi penelitian
6.	Shapefile Provinsi dan Kabupaten di Indonesia	Peta dasar Dalam pembuatan peta
7.	Seperangkat peralatan komputer beserta alat pencetak	Menjalankan berbagai perangkat lunak dan pencetakan hasil penelitian

Pengambilan Data

Data gelombang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil prediksi gelombang *WW3* yang dikeluarkan oleh BMKG. Data tersebut diperoleh melalui unduhan pada situs *Ocean Forecast System (OFS)-BMKG* <https://peta-maritim.bmkg.go.id> dengan izin BMKG terlebih dahulu melalui script *Phyton*.

Data pertama yang dapat diunduh adalah tinggi gelombang signifikan. Jadi tinggi gelombang yang diberikan adalah tinggi gelombang signifikan (H_s), adalah nilai rata-rata dari 1/3 data teratas setelah data gelombang diurutkan dari nilai terendah sampai tertinggi pada suatu periode waktu tertentu. Data berikutnya yaitu rata-rata arah gelombang (*mean wave direction/dir*). Data arah gelombang ini bukan merupakan arah yang dituju gelombang melainkan data yang menunjukkan rata-rata arah dari mana gelombang datang. Demikian juga, nilai tinggi gelombang tersebut sudah merupakan hasil kombinasi untuk gelombang lokal (sea) dan gelombang yang merupakan alunan dari tempat pembangkitannya di lokasi yang jauh (swell).

Aspek waktu perlu diperhatikan untuk data gelombang *WW3*. Waktu pencatatan yang diberikan untuk data setiap hari adalah pada jam 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, dan 21. Waktu pencatatan itu adalah menurut waktu UTC (Universal Time Coordinated), jadi perlu disesuaikan data yang diperoleh menurut waktu lokal. Untuk waktu lokasi setempat perbedaannya dengan UTC adalah +8 jam, maka perlu diperhatikan bahwa setiap data yang ditampilkan dengan waktu UTC bukan waktu lokal. Pada penelitian ini, data yang dipergunakan adalah data keseluruhan waktu pencatatan.

Langkah Pengolahan Analisis Data

Metode yang dipergunakan pada penelitian ini merupakan metode analisis spasial-temporal yaitu metode analisis deskriptif-kualitatif yang mendeskripsikan gambar/ peta-peta keluaran.

Perubahan tinggi dan arah gelombang dengan waktu pada suatu lokasi dapat disajikan secara diagram dalam bentuk mawar gelombang. Sebuah mawar gelombang terdiri atas garis yang memancar dari pusat lingkaran dan menunjukkan arah dari mana gelombang tersebut datang.

Hasil pengolahan data gelombang diperoleh lewat sejumlah tahapan pengolahan yang dilakukan. Adapun tahapan-tahapan tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Data gelombang yang diunduh dalam format arsip CSV, dibaca menggunakan perangkat *Microsoft Excel*. Dalam tahapan ini, data gelombang sudah terkonversi menjadi arsip berformat teks dan kemudian di simpan kembali dalam bentuk *Excel Workbook (xlsx)*. Kemudian data gelombang disusun dalam bentuk tabel seperti berikut.

Tabel 2. Pengolahan data

Tanggal	Jam 00		Jam 03		Jam 06	
	Arah	Tinggi	Arah	Tinggi	Arah	Tinggi
	Gelombang (°)	Gelombang (hs) (m)	Gelombang (°)	Gelombang (hs) (m)	Gelombang (°)	Gelombang (hs) (m)

2. Selanjutnya data diolah menggunakan perangkat lunak OriginPro 2021 untuk memperoleh grafik mawar gelombang yang menggambarkan arah datang dan tinggi gelombang. Sebenarnya perangkat lunak OriginPro 2021 ini umum digunakan untuk menggambarkan grafik mawar angin, tetapi dalam penelitian ini dijadikan alat bantu untuk menggambarkan arah datang dan tinggi gelombang.

3. Hasil pengolahan ditampilkan dalam bentuk grafik dan dianalisis dengan cara membandingkan berbagai grafik yang dihasilkan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan.

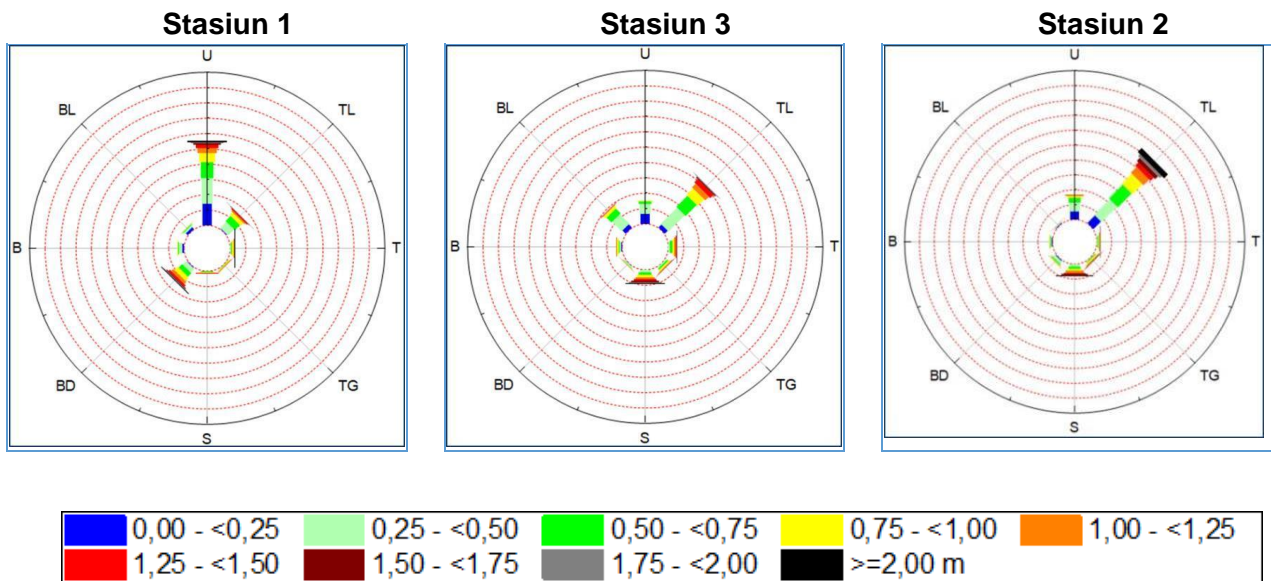
HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Umum Arah dan Tinggi Gelombang Signifikan di Laut Sulawesi Selama Periode Tahun 2020-2021

Gelombang yang terjadi di perairan Laut Sulawesi selama periode tahun 2020-2021, datang dari keseluruhan (8) arah mata angin. walaupun dengan karakteristik yang berbeda menurut stasiun yang dikaji. Di Stasiun 1, gelombang yang terjadi lebih banyak merambat dari arah Utara, sedangkan pada Stasiun 2 dan 3 arah datang gelombang terbanyak dari arah Timur Laut (Gambar 2).

Komposisi tinggi gelombang signifikan pada ketiga stasiun yang dikaji tampak berbeda jika dilihat dari arah rambatannya. Di Stasiun 1, tinggi gelombang signifikan lebih dari 2 m, tampak pada gelombang yang merambat dari arah Utara, Barat Daya, dan Timur sekalipun proporsinya sangat kecil. Di Stasiun 2, tinggi gelombang signifikan lebih dari 2 m, terjadi terutama untuk gelombang yang merambat dari arah Timur Laut dan Selatan. Sedangkan di Stasiun 3, tinggi gelombang signifikan lebih dari 2 m, terjadi dalam proporsi sangat kecil untuk gelombang rambatan dari arah Selatan yang bukan proporsi arah datang gelombang utama pada stasiun ini.

Berdasarkan tampilan keseluruhan tinggi gelombang signifikan di ketiga stasiun kajian yang mewakili lokasi penelitian perairan Laut Sulawesi, tampak gelombang di Stasiun 2 lebih besar dari Stasiun 1 dan 3 (Gambar 2).



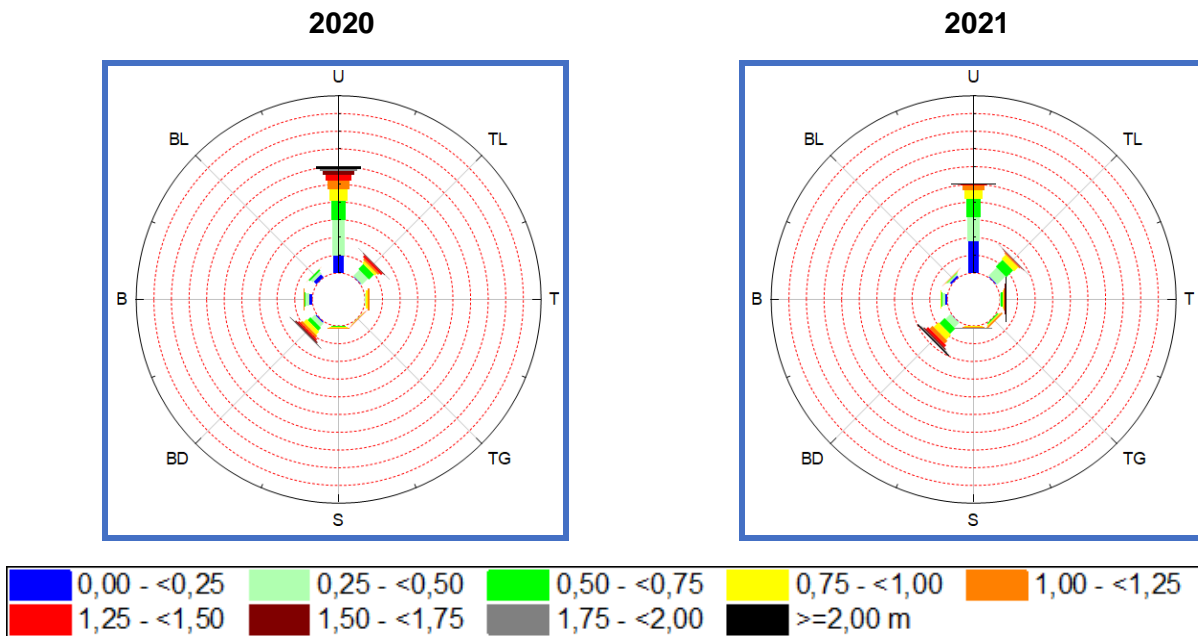
Gambar 2. Mawar Gelombang Yang Menampilkan Tinggi Gelombang Signifikan Pada Ketiga Stasiun di Lokasi Penelitian sepanjang 2020 dan 2021.

Di Stasiun 1 pada tahun 2020, gelombang terbanyak merambat dari arah Utara dengan frekuensi kejadian sekitar 60 %. Hal yang sama terjadi pada tahun 2021, hanya saja dengan frekuensi kejadian yang sedikit berkurang, yaitu hanya sekitar 50 % karena terjadi peningkatan proporsi gelombang yang merambat dari Timur Laut dan Barat Daya. Gelombang diatas 2 m ditunjukkan oleh bar berwarna hitam pada mawar gelombang di bawah (Gambar 3). Gelombang ini tergolong dalam kategori sedang menurut *World Meteorologic Organization (WMO)*. Gelombang berkategori sedang (khususnya di atas 2 m) pada tahun 2020 di stasiun ini, datang dari arah Utara. Pada tahun 2021, gelombang sedang yang datang dari arah Utara tampak berkurang, tetapi terjadi peningkatan frekuensi gelombang tinggi yang datang dari arah Timur dan Barat Daya (Gambar 3).

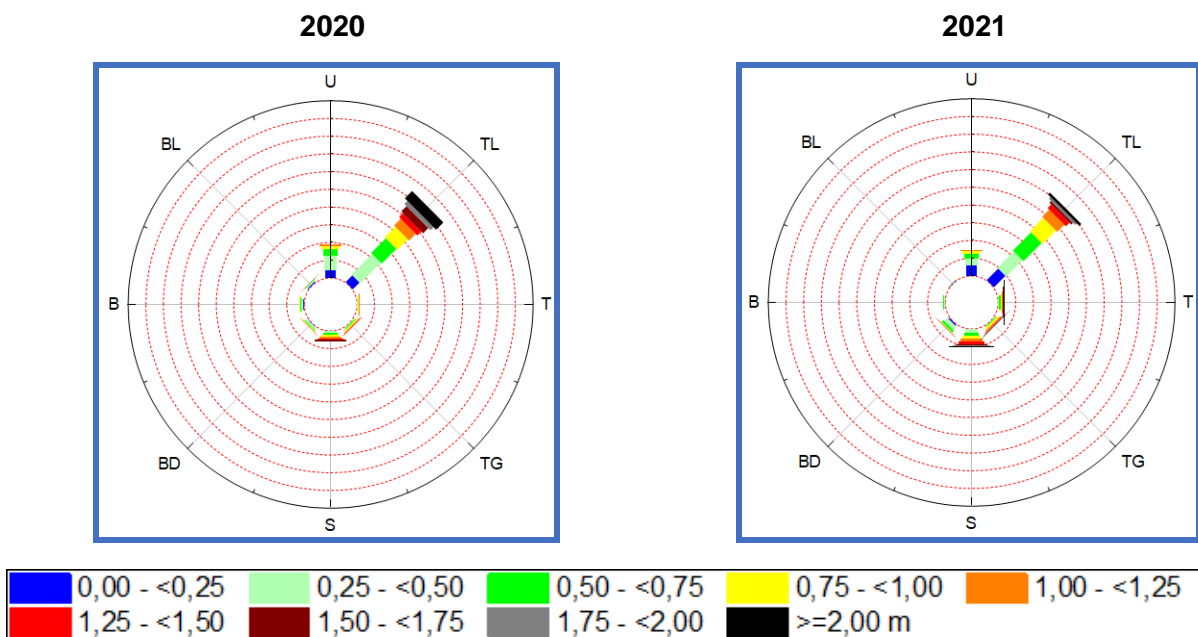
Di Stasiun 2 (Gambar 4), konsistensi kejadian rambatan gelombang juga terjadi antara tahun 2020 dan 2021, sekalipun agak berbeda dari Stasiun 1, gelombang yang terjadi pada stasiun ini terbanyak merambat dari arah Timur Laut. Gelombang yang merambat dari arah Timur Laut pada stasiun ini mencapai frekuensi sekitar 60 %, dan hanya sedikit sekali perubahan frekuensi arah terbanyak dari keadaan tahun 2020 dibanding kejadian pada tahun 2021. Frekuensi kejadian gelombang yang merambat dari arah Timur

Laut pada tahun 2021 sedikit berkurang dibanding kejadian pada tahun 2020, karena terjadi penambahan frekuensi gelombang yang merambat dari arah Timur, Tenggara, Selatan, dan Barat Daya. Gelombang sedang (khususnya di atas 2 m) yang terjadi pada stasiun ini di tahun 2020, umumnya datang dari arah Timur Laut. Kondisi ini sedikit berubah pada tahun 2021, di mana frekuensi Gelombang sedang (khususnya di atas 2 m) dari arah Timur Laut sedikit berkurang digantikan oleh frekuensi gelombang tinggi yang merambat terutama dari arah Timur, Tenggara dan Selatan.

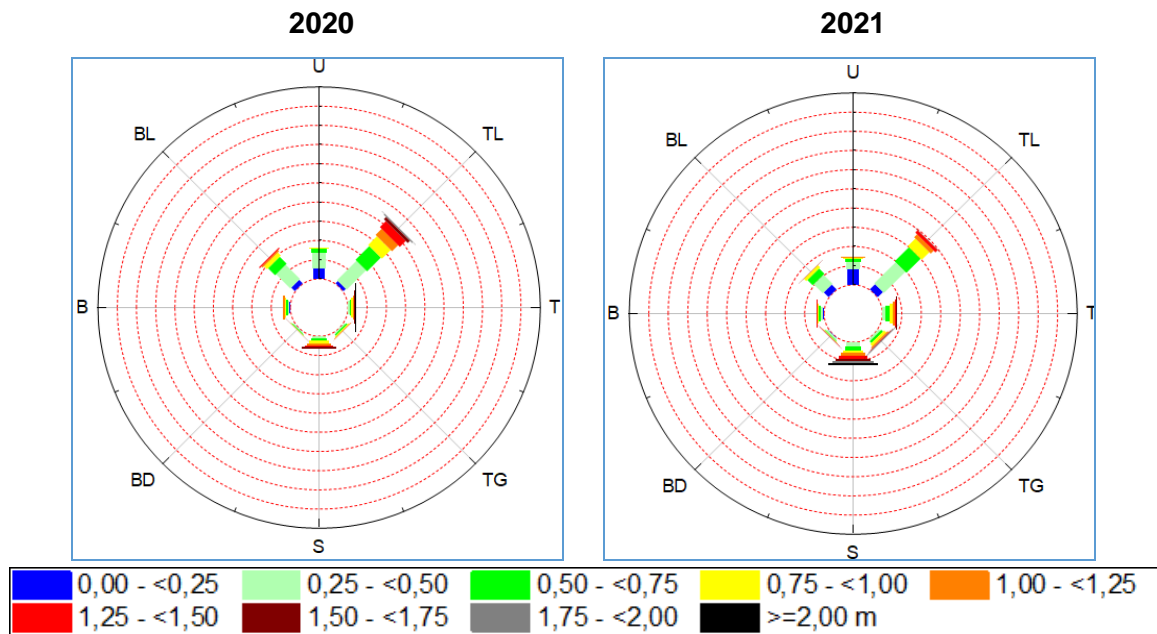
Perubahan kondisi gelombang baik arah datang maupun tinggi gelombang yang terjadi pada Stasiun 1 dan 2, juga terjadi pada Stasiun 3. Di Stasiun 3 arah datang gelombang terbanyak (mirip dengan di Stasiun 2), yaitu datang dari arah Timur Laut, sekalipun dengan frekuensi yang tidak sebesar kejadiannya pada Stasiun 2. Penurunan frekuensi gelombang dari arah Timur Laut pada tahun 2021 dibanding keadaannya pada tahun 2020, juga bersamaan dengan peningkatan frekuensi gelombang yang datang dari arah Timur, Tenggara, Selatan, dan Barat Daya. Demikian juga dengan frekuensi gelombang sedang (khususnya di atas 2 m), perbedaan yang cukup mencolok antara kondisi tahun 2020 dan 2021 adalah peningkatan frekuensi gelombang tinggi yang datang merambat dari arah Selatan dan berkurangnya gelombang tinggi yang merambat dari arah Timur Laut



Gambar 3. Mawar Gelombang Yang Menampilkan Tinggi Gelombang Signifikan Pada Stasiun 1 di Lokasi Penelitian.



Gambar 4. Mawar Gelombang Yang Menampilkan Tinggi Gelombang Signifikan Pada Stasiun 2 di Lokasi Penelitian.



Gambar 5. Mawar Gelombang Yang Menampilkan Tinggi Gelombang Signifikan Pada Stasiun 3 di Lokasi Penelitian.

(Gambar 5). Kajian selanjutnya diarahkan pada deskripsi tinggi gelombang signifikan yang terjadi pada setiap stasiun dalam skala temporal bulanan.

Deskripsi Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan di Lokasi Penelitian

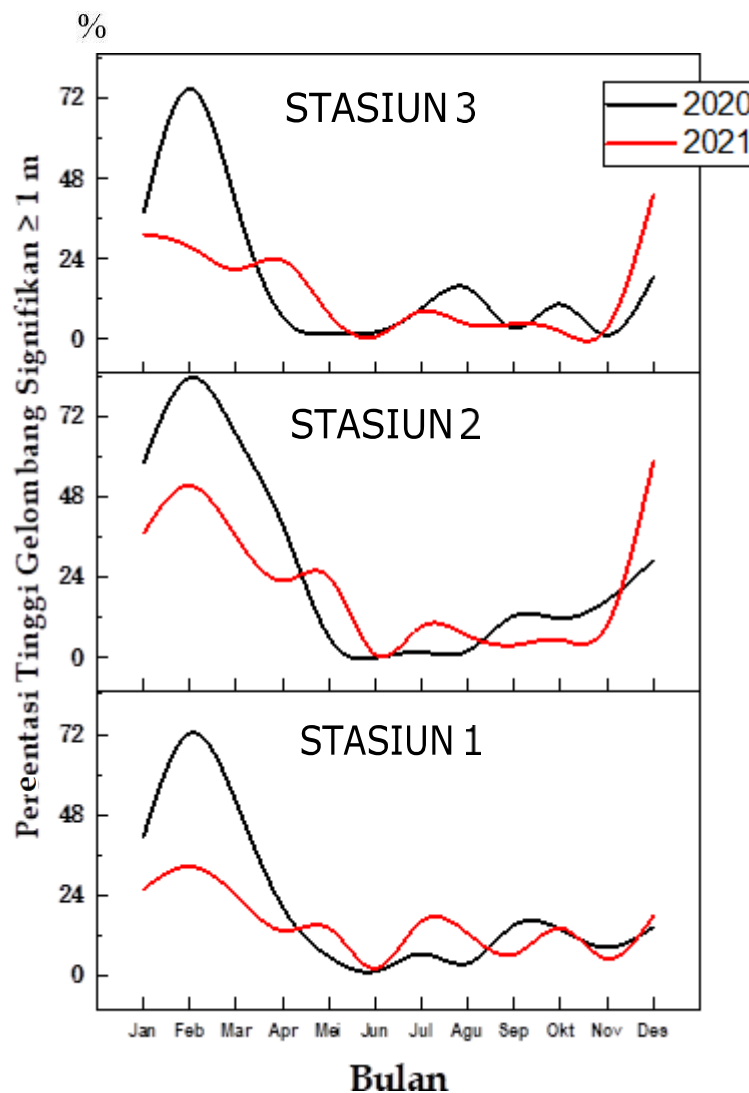
Data tinggi gelombang signifikan, diolah untuk mendapatkan komposisi kejadian tinggi gelombang signifikan bulanan periode tahun 2020 dan 2021 di lokasi penelitian. Tinggi gelombang signifikan yang menjadi fokus perhatian adalah kejadian tinggi gelombang dengan besaran di atas 1 meter.

Tinggi gelombang signifikan dengan besaran di atas 1 meter di lokasi penelitian selama periode waktu tahun 2020 dan 2021, sangat berbeda tampilan dalam skala temporal bulanan. Seperti yang tampak pada Gambar 6, gelombang tinggi yang terjadi pada tahun 2020 terjadi juga di tahun 2021, tetapi dengan temporal bulanan yang tidak persis sama.

Selama tahun 2020, besaran tinggi

gelombang signifikan di atas 1 meter terutama terjadi pada bulan Februari. Hal tersebut terjadi pada keseluruhan stasiun yang menjadi sampel dalam penelitian ini. Tinggi gelombang signifikan dengan besaran di atas 1 meter di bulan Februari pada tahun 2020, memiliki proporsi kejadian lebih dari 70 % pada ketiga stasiun yang dikaji.

Di tahun 2021, tinggi gelombang signifikan pada tahun ini berbeda dari tahun sebelumnya. Proporsi tinggi gelombang signifikan dengan besaran di atas 1 meter di bulan Februari tetap cukup tinggi dibanding umumnya kejadian pada bulan lainnya. Walaupun demikian, dapat dilihat bahwa di akhir tahun (bulan Desember), khususnya pada Stasiun 2 dan 3, proporsi tersebut meningkat melebihi proporsi bulan Februari.



Gambar 6. Proporsi Bulanan Tinggi Gelombang Signifikan Dengan Besaran Lebih Dari 1 Meter Pada Lokasi Penelitian.

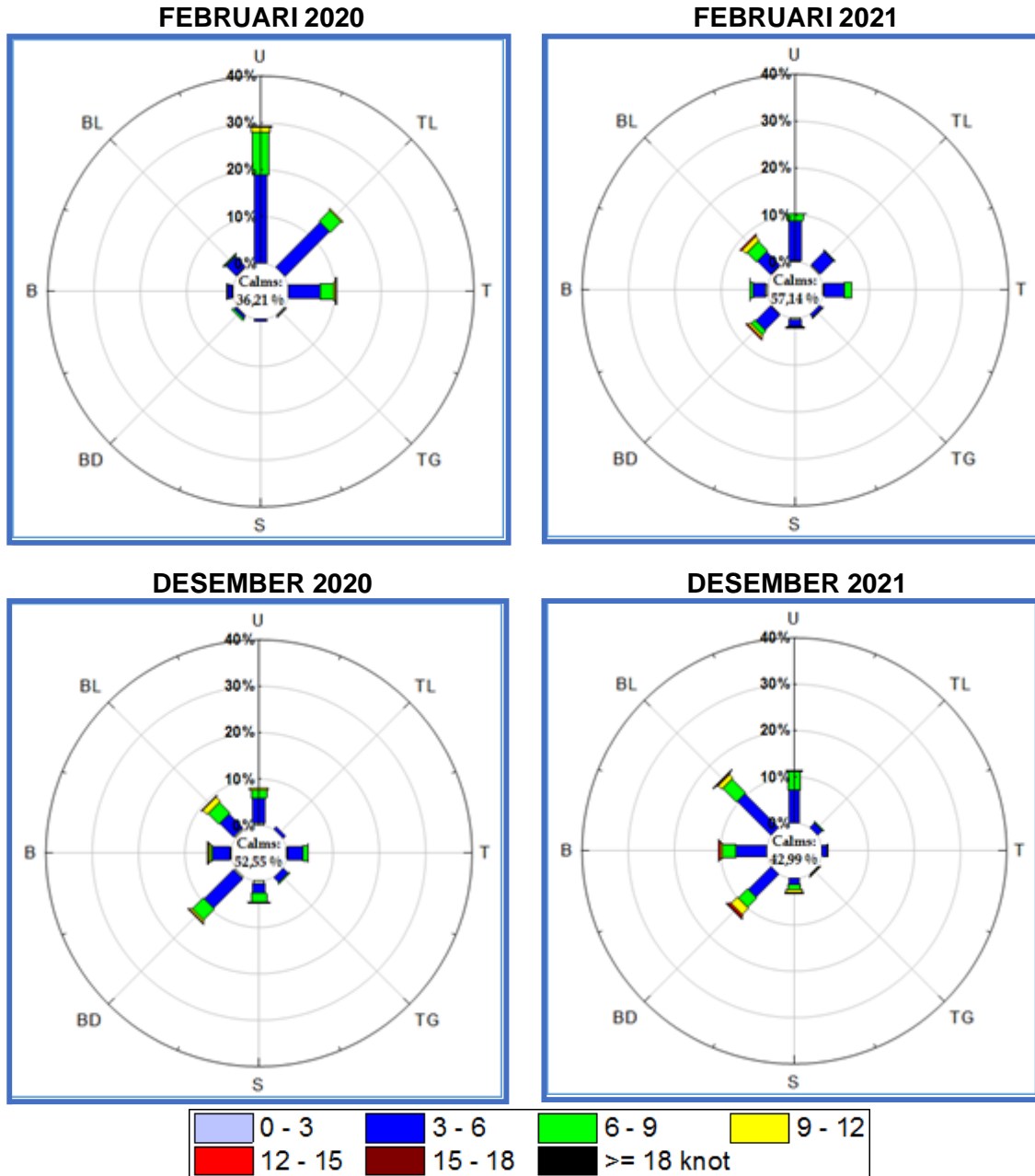
Berdasarkan keberadaan proporsi tinggi gelombang signifikan dengan besaran di atas 1 meter, terdapat gambaran bahwa proses pembangkitan gelombang di lokasi penelitian selama periode tahun 2020 berbeda dengan periode tahun 2021. Pada tahun 2020, tampak musim Utara di awal tahun yang puncaknya terjadi pada bulan Februari membangkitkan gelombang yang mengalun dari arah Timur Laut yang lebih kuat dibanding musim Utara pada akhir tahun (bulan Desember). Keadaan sebaliknya terjadi pada tahun 2021, di mana

kondisi gelombang pada akhir tahun lebih kuat dibanding awal tahun. Kondisi ini tampak sekali melalui keberadaan tinggi gelombang signifikan di bulan Februari dan Desember pada Stasiun 2 dan Stasiun 3 (Gambar 6).

Keberadaan tinggi gelombang signifikan di lokasi penelitian seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, tentunya tidak terlepas atau memiliki kaitan yang erat dengan tenaga pembangkitnya. Secara teoritis, gelombang yang terbentuk di permukaan perairan, terutama dibangkitkan

oleh angin. Berdasarkan referensi data angin terukur di Stasiun Naha yang merupakan stasiun pengukuran terdekat dengan jarak ± 100 km dari stasiun 3, memperlihatkan adanya keterkaitan dengan gelombang yang terjadi di lokasi penelitian

setidaknya menyangkut kekuatan angin yang bekerja pada waktu itu. Hal ini tampaknya sejalan dengan gambaran data angin dari Stasiun Naha yang ditampilkan dalam bentuk mawar angin pada Gambar 7 .



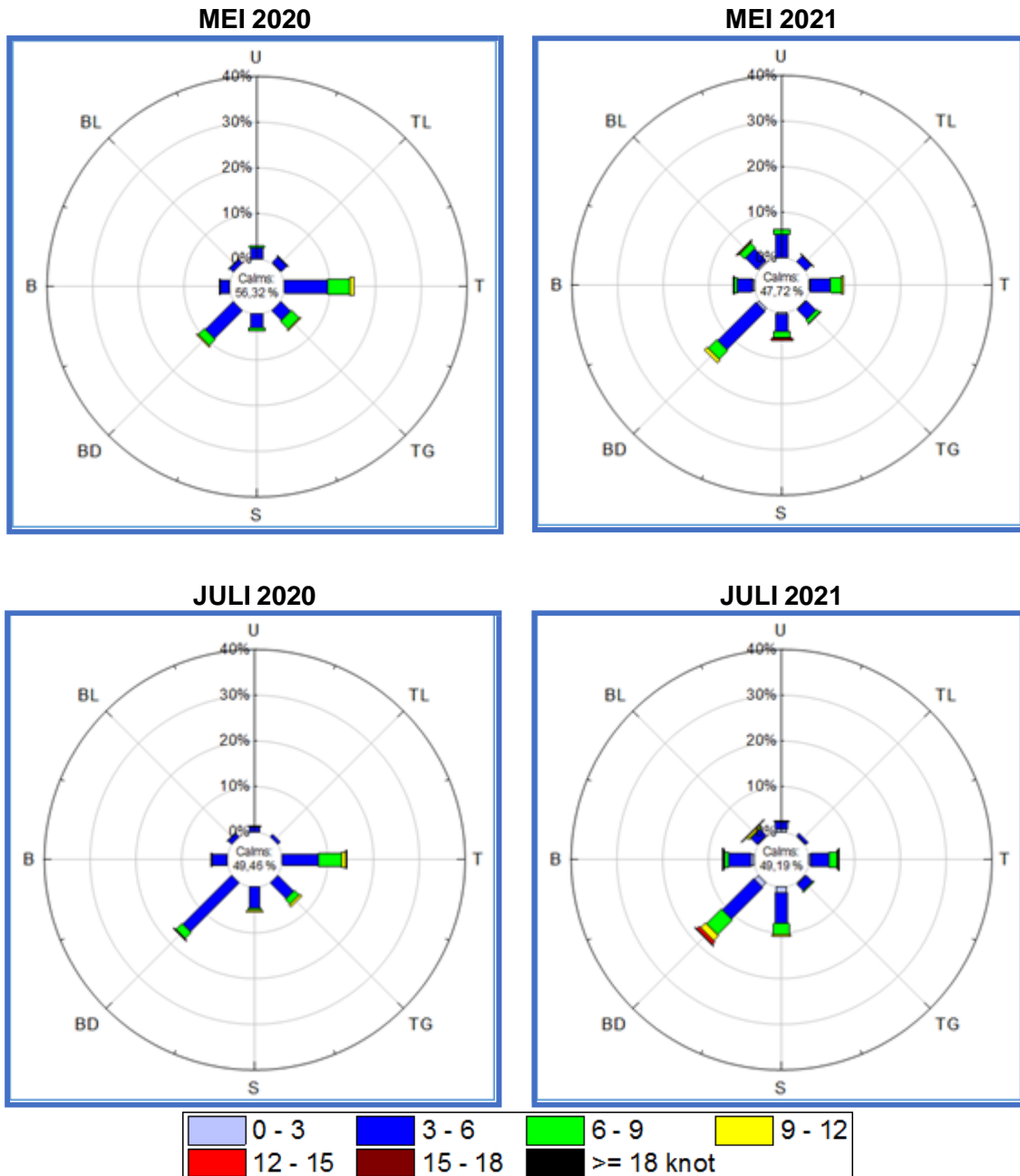
Gambar 7. Arah dan Kecepatan Angin Pada Bulan Februari dan Desember Tahun 2020 dan 2021 Yang Terukur di Stasiun Cuaca Naha.

Jika diperhatikan lebih seksama tampilan Gambar 6, maka dapat dilihat bahwa pada periode berlangsungnya musim

Selatan, gelombang yang terjadi pada tahun 2021 lebih tinggi dibanding kejadiannya tahun 2020. Hal ini jelas terlihat pada

perbedaan proporsi tinggi gelombang signifikan, terutama pada bulan Mei dan Juli. Berdasarkan Kondisi angin yang terukur di Stasiun Naha (Gambar 8), bisa dilihat bahwa kondisi angin yang terjadi saat musim Selatan tahun 2021 lebih kuat dibanding

pada musim yang sama tahun 2020. Kondisi gelombang di lokasi penelitian seperti yang dijelaskan, terutama terjadi pada Stasiun 1 dan Stasiun 2, di mana hal tersebut dapat jelas dilihat pada tampilan di Gambar 8.



Gambar 8. Arah dan Kecepatan Angin Pada Bulan Mei dan Juli Tahun 2020 dan 2021 Yang Terukur di Stasiun Cuaca Naha.

Deskripsi Tinggi Gelombang Signifikan Harian di Lokasi Penelitian

Data tinggi gelombang signifikan yang diperoleh dari BMKG dideskripsikan dalam selang waktu setiap 3 jam setiap hari. Untuk melihat karakteristik tinggi gelombang signifikan pada setiap selang waktu 3 jam tersebut, maka data diolah dalam bentuk grafik yang menampilkan persentasi kejadian tinggi gelombang signifikan pada beberapa selang kelas. Tinggi gelombang signifikan yang menjadi fokus perhatian adalah yang memiliki besaran minimal 1 meter.

Saat musim Utara tahun 2020, dengan jelas dapat dilihat bahwa tinggi gelombang signifikan pada Stasiun 2 lebih tinggi dari stasiun lainnya. Terutama pada bulan Januari dan Februari, gelombang tinggi (tinggi gelombang signifikan ≥ 2 m), memiliki persentasi kejadian sangat besar, dan kejadiannya adalah pada sekitar sore hari pada jam 17:00 WITA(Waktu Indonesia Tengah)/09:00 UTC (Universal Time Coordinated) untuk bulan Januari dan jam 14:00 WITA/6 UTC untuk bulan Februari. Persentasi kejadian gelombang tinggi yang memiliki persentasi cukup besar juga adalah pada pagi hari (jam 08:00 WITA/00:00 UTC) di bulan November dan jam 17:00 WITA/09:00 UTC di bulan Desember, dengan persentasi sekitar 50%. Dengan demikian dapat dikatakan, kejadian menurut data tahun 2020, memiliki kecenderungan terjadi pada pagi sampai sore hari.

Gelombang tinggi di tahun 2020, juga terjadi pada musim peralihan I. Pada bulan Maret di Stasiun 2, kejadiannya bahkan mencapai persentasi lebih dari 75 % saat pagi hari. Terjadinya gelombang tinggi tersebut, memiliki kemiripan waktu kejadiannya dengan saat musim Utara, yaitu saat pagi hingga sore hari.

Pada tahun 2021, gelombang tinggi juga terjadi saat berlangsungnya musim Utara. Sedikit berbeda kejadiannya dengan saat musim Utara tahun 2020, gelombang tinggi di tahun 2021 tampak lebih banyak terjadi pada akhir tahun (bulan November dan Desember). Waktu kejadian gelombang tinggi sedikit mirip dengan musim Utara tahun sebelumnya, yaitu cenderung terjadi pada pagi hari. Walaupun demikian, saat bulan Desember, selain terjadi pada siang dan sore hari (jam 11:00 WITA/03:00 UTC dan jam 17:00 WITA/09:00 UTC), gelombang tinggi tampak terjadi juga pada jam 02:00 WITA/18:00 UTC. Demikian

juga, pada bulan Februari di Stasiun 2, gelombang tinggi terjadi pada jam 05:00 WITA/21:00 UTC. Keberadaan lain yang bisa dilihat juga adalah tampaknya gelombang tinggi yang terjadi saat musim Utara tahun 2021 lebih merata kejadiannya pada seluruh stasiun di lokasi penelitian dibanding keadaannya pada tahun 2020. Pada tahun 2021 bulan Januari, sama sekali tidak ada kejadian tinggi gelombang signifikan ≥ 2 m.

Gelombang tinggi pada musim peralihan tahun 2021, terutama terjadi pada bulan Maret saat siang hari (jam 14:00 WITA/06:00 UTC) dan April saat sore hari (jam 17:00 WITA/09:00 UTC). Khusus pada bulan Maret, selain siang hari, gelombang tinggi juga terjadi dengan persentasi yang kecil saat dini hari (jam 02:00 WITA/18:00 UTC). Selain itu, gelombang tinggi tampak terjadi dengan persentasi yang sangat kecil pada bulan September di Stasiun 2 dan 3, serta bulan Oktober di Stasiun 1.

Perbedaan kejadian gelombang tinggi yang terjadi pada lokasi penelitian tahun 2020 dan 2021 yang paling berbeda, tampaknya ditunjukkan oleh keadaannya saat berlangsung musim Selatan. Saat musim Selatan tahun 2020, tidak terjadi tinggi gelombang signifikan ≥ 2 m. Pada musim yang sama tahun 2021, tinggi gelombang signifikan ≥ 2 m, terjadi pada bulan Juni di Stasiun 1 dan 2, serta pada bulan Agustus di Stasiun 3, sekalipun hanya dengan persentasi kejadian yang tidak terlampaui besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data arah datang gelombang dan tinggi gelombang signifikan selama kurun waktu 2 tahun dari bulan Januari 2020 sampai dengan Desember 2021 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Arah rambat gelombang terbanyak yang terjadi di ketiga titik koordinat (Stasiun) untuk tahun 2020 sampai 2021 datang dari arah Utara dan Timur Laut. Proporsi tinggi gelombang signifikan diatas 1 meter menunjukkan bahwa tahun 2020 paling besar proporsinya pada awal tahun (diatas 70%) sementara pada tahun 2021 pada akhir tahun dan hal tersebut paling tampak pada stasiun 2 dengan persentase diatas 50%.
2. Kajian dengan skala temporal bulanan menunjukkan bahwa arah rambat gelombang terbanyak berasal dari arah Utara untuk stasiun 1 dan dari arah Timur Laut pada stasiun 2 dan stasiun 3. Tinggi gelombang signifikan pada tahun 2020 terjadi paling kuat pada musim Utara awal tahun khususnya

pada bulan Februari sementara pada tahun 2021 tinggi gelombang signifikan paling kuat terjadi justru pada musim utara akhir tahun khususnya pada bulan Desember disamping proporsi kejadian tinggi gelombang signifikan pada musim Selatan khususnya Mei dan Juli di tahun 2021. Hal ini juga didukung dengan data angin pengukuran Stasiun BMKG Naha Kepulauan Sangihe.

3. Berdasarkan analisis grafik mawar arah datang gelombang yang terjadi pada keseluruhan jam, arah rambat gelombang tidak memperlihatkan banyak perbedaan dalam arah rambatan berdasarkan tahun yang berbeda. Akan tetapi, Tinggi gelombang signifikan harian diatas 2 meter (sedang) memiliki kecenderungan terjadi pada pagi sampai sore hari pada 2020. Hal yang mirip terjadi pada tahun 2021, sekalipun gelombang sedang (≥ 2 m) juga terjadi saat ini hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Kurniawan, R., Habibie, M. N., Suratno, S. 2011. Variasi bulanan gelombang laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3), 19-26.
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., Permana, D. S. 2012. Kajian daerah rawan gelombang tinggi di Perairan Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(3), 35-41.
- Nining, S. N. 2002. Oseanografi Fisis. Kumpulan Transparansi Kuliah Oseanografi Fisika, Program Studi Oseanografi, ITB. 91 hal.
- Aror, R. D., Patty, W., Ramdhani, A. 2019. Utilization of Wavewatch III Model Output Data for High Wave Analysis. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 24(3), 132-138.
- Triyulianti, I., Radiarta, I. N., Yunanto, A., Pradisty, N. A., Islami, F., Putri, M. R. 2018. Sistem karbon laut di perairan laut maluku dan laut sulawesi. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 2(3), 192-207.