

PERANAN PELABUHAN PENYEBERANGAN DITINJAU DARI ASPEK POLA MUSIM GELOMBANG LAUT (STUDI KASUS: PULAU MAKALEHI, PROVINSI SULAWESI UTARA)

Asep Irwan^{1*}, Muhammad Fatkhurrozi², Adinda Maharani³ dan Arif Bagas Kesuma⁴

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sains Bandung, Kota Deltamas Lot-A1 CBD, Jl. Ganesha Boulevard No.1 Blok A, Pasirranji, Kec. Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat

e-mail: asepirwan.marine@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung

e-mail: fatkhurrozi@windowslive.com

³Program Studi Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Cobleng, Kota Bandung, Jawa Barat

e-mail: adndamahrani@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung

e-mail: arifbagas03@gmail.com

ABSTRAK

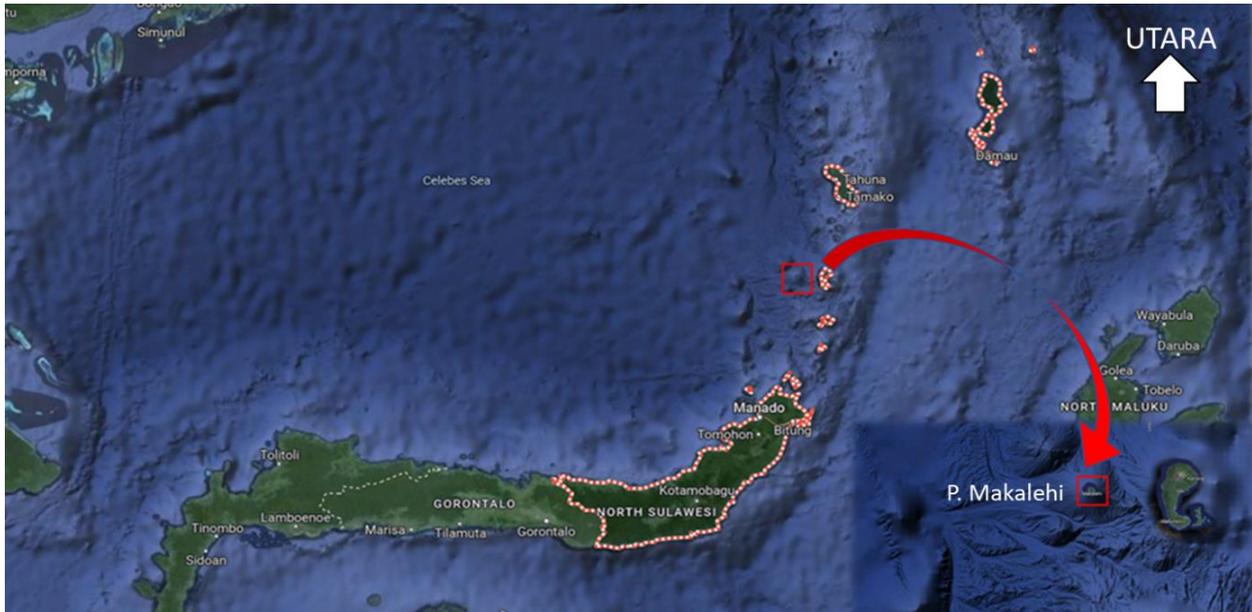
Pelabuhan Penyeberangan merupakan pelabuhan umum yang melayani penyeberangan antar pulau dan merupakan pelabuhan umum yang sangat vital menggerakkan roda ekonomi Indonesia secara umum. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peran pentingnya pelabuhan penyeberangan yang ditinjau berdasarkan dari aspek pola musim gelombang laut, dimana lokasi studi kasus dilakukan di Pulau Makalehi, Provinsi Sulawesi Utara. Pulau Makalehi ini merupakan Pulau yang berada di wilayah pemerintah Kabupaten Siau Tagulandang Biaro Provinsi Sulawesi Utara. Pulau ini diduga merupakan puncak gunung berapi laut yang muncul ke permukaan di masa silam. Hal tersebut didukung oleh topografi wilayahnya yang berupa kerucut terpancung berlereng terjal dengan bekas kawah di tengah yang sekarang berupa danau. Metode penelitian yang dilakukan adalah survei lapangan dan analisis hindcasting serta pemodelan gelombang, kemudian dilakukan analisis probabilitas kejadian gelombang terhadap nilai *calm* sehingga didapatkan pola musim gelombang setiap tahunnya. Berdasarkan hasil dari simulasi data gelombang 10th di Pulau Makalehi maka dapat disimpulkan pola musim gelombang di Pulau Makalehi cenderung dominan dari sisi Timur Laut dengan masa pola musim dalam satu tahun adalah 5 bulan yaitu bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni. Kemudian musim selatan terjadi hanya 2 bulan yaitu bulan Juli s.d Agustus, selanjutnya musim barat terjadi pada bulan Desember. Meskipun musim barat hanya terjadi satu bulan dalam satu tahun ketinggian gelombang berdasarkan analisis selama 10th musim barat ini merupakan gelombang tertinggi dari musim lainnya yaitu dapat mencapai ketinggian gelombang sampai 4.8 m.

Kata kunci: Pelabuhan Penyeberangan, Makalehi, Gelombang Laut

1. PENDAHULUAN

Pelabuhan merupakan salah satu bagian dari sistem transportasi yang berfungsi sebagai tempat bongkar muat arus barang dan penumpang. Dengan adanya pelabuhan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan akan fasilitas bongkar muat barang dan penumpang, yang menunjang pembangunan/perkembangan wilayah belakangnya (*hinterland*). Pembangunan pelabuhan bukanlah merupakan kegiatan yang dapat berdiri sendiri, tapi berkaitan erat dengan aspek-aspek ekonomi dan sosial yang berada dalam jangkauan pelayanan angkutan pelabuhan tersebut. Pelabuhan penyeberangan dipergunakan untuk melayani angkutan penyeberangan. Angkutan penyeberangan dimaksudkan untuk melayani angkutan penumpang dan kendaraan pada lintas penyeberangan. Lintas penyeberangan tidak selalu menghubungkan antar dua pelabuhan penyeberangan, dan dimungkinkan juga menghubungkan antar dua pelabuhan laut atau sungai atau menghubungkan antara pelabuhan laut dengan pelabuhan penyeberangan yang dilayani sebagai angkutan penyeberangan dan hanya untuk melayani kepentingan umum. Penetapan pelabuhan penyeberangan dilakukan dalam hal pembangunan dan pengoperasiannya ditujukan untuk itu dan memenuhi persyaratan sebagai pelabuhan. Penentuan rencana titik pelabuhan tentunya tidak akan lepas pada aspek oseanografi, salah satunya adalah gelombang laut. Dalam analisis nya untuk mendapatkan pola dan musim gelombang dapat dilakukan dengan mentransformasikan data angin selama 10 tahun dilokasi kajian kemudian dilakukan penentuan titik pembangunan gelombang lalu di kalkulasikan dengan metode probabilitas secara statistik. Selanjutnya berdasarkan Irwan, A., Oktavia, P., & Rusdiana, D. (2021) hasil dari analisis probabilitas tersebut dapat dilanjutkan pada tahap simulasi model matematik secara numerik dengan persamaan kekekalan massa dan momentum. Dalam merencanakan sebuah pelabuhan selanjutnya terdapat kriteria ketahanan kapal terhadap besar gelombang, ditentukan berdasarkan besaran kapal yaitu semakin besar ukuran kapal maka semakin besar tinggi gelombang yang disyaratkan aman (Soejono Kramadibrata. 2001).

Pulau Makalehi adalah salah satu pulau luar Indonesia yang mempunyai peranan penting sebagai kawasan sempadan negara (Marschiavelli, M. I. C. 2007). Pulau Makalehi adalah pulau terluar Indonesia yang terletak di Laut Sulawesi dan berbatasan dengan negara Filipina. Tahun 2017 Pulau Makalehi ditetapkan sebagai Pulau-Pulau Kecil Terluar, Penetapan ini dituangkan dalam Keputusan Presiden Nomor 6 Tahun 2017 tentang Penetapan Pulau-Pulau Kecil Terluar. Pelabuhan penyeberangan makalehi terletak di Pulau Makalehi tepatnya di Kabupaten Kepulauan Siau Tagulandang Biaro, Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor KM 217 Tahun 2022 Tentang Perubahan Ketiga Atas Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 432 Tahun 2017 Tentang Rencana Induk Pelabuhan Nasional, Pelabuhan Penyeberangan Makalehi merupakan Pelabuhan Penyeberangan Kelas III. Namun sampai saat ini lokasi atau pelabuhan penyeberangan makalehi tersebut belum terbangun dilokasi rencana. Pulau Makalehi terdapat 3 Kampung yaitu, Makalehi Induk, Makalehi Timur dan Makalehi Utara. Saat ini di lokasi terdapat pelabuhan eksisting yang merupakan Pelabuhan Laut yang berada di Desa Makalehi Induk dan sisi Utara terdapat tambatan perahu yang berada di Desa Makalehi Utara.



Sumber: Google Earth 2024, diolah kembali.

Gambar 1. Orientasi Lokasi Pulau Makalehi

Sehingga menjadi penting keberadaan Pelabuhan Penyeberangan di Pulau Makalehi yang ditinjau dari aspek pola musim gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peran pentingnya pelabuhan penyeberangan yang ditinjau berdasarkan dari aspek pola musim gelombang laut yang juga dapat digunakan sebagai gambaran awal dalam penentuan pola operasi pelabuhan penyeberangan nantinya.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan menggunakan survei lapangan yang digunakan sebagai visualisasi kondisi dan karakteristik Pulau Makalehi. Selain itu peneliti menggunakan metode kuantitatif karena informasi yang diperoleh akan lebih terperinci serta sesuai dengan sasaran dengan melakukan observasi secara mendalam di lokasi penelitian tersebut. Selanjutnya dilakukan analisis *hindcasting* atau transformasi gelombang laut dari data angin lalu dilakukan tahap simulasi model matematik secara numerik dengan persamaan kekekalan massa dan momentum.

Data dalam penelitian ini menggunakan data angin digunakan sebagai data masukan perhitungan tinggi gelombang yang terjadi di sekitar Pulau Makalehi. Data angin yang digunakan adalah data angin dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) pada perairan Sulawesi Utara tepatnya di perairan Pulau Makalehi.

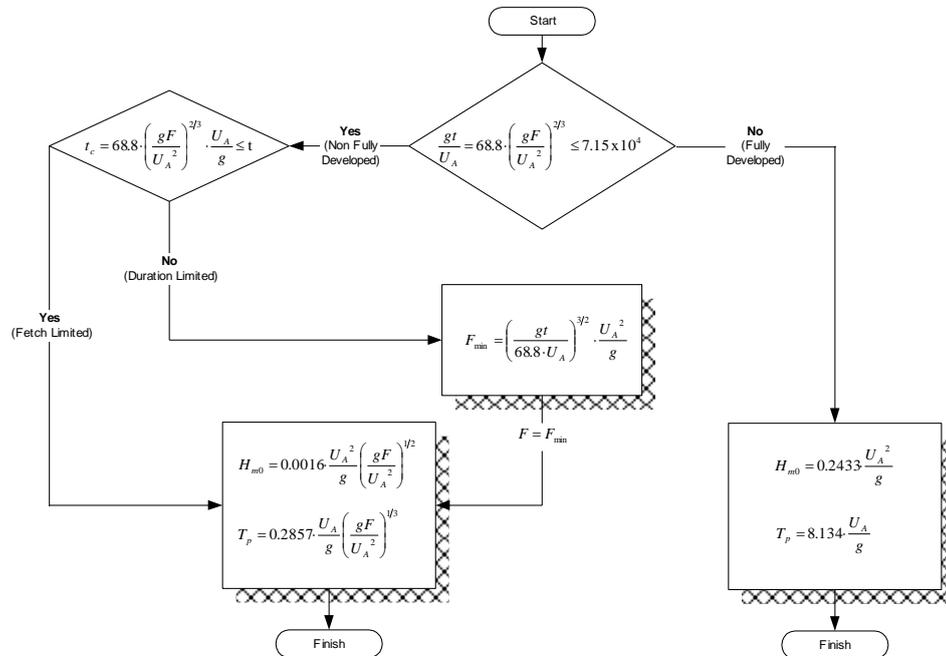
Untuk melakukan peramalan gelombang di suatu perairan diperlukan masukan berupa data angin dan peta batimetri. Peta perairan lokasi dan sekitarnya diperlukan untuk menentukan besarnya “fetch” atau kawasan pembentukan gelombang. Fetch adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Adanya kenyataan bahwa angin bertiup dalam arah yang bervariasi atau sembarang, maka panjang fetch diukur dari titik pengamatan dengan interval 5°. Panjang fetch efektif dihitung untuk 8 arah mata angin dan ditentukan berdasarkan rumus berikut.

$$L_f = \frac{\sum L_{f_i} \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (1)$$

dimana

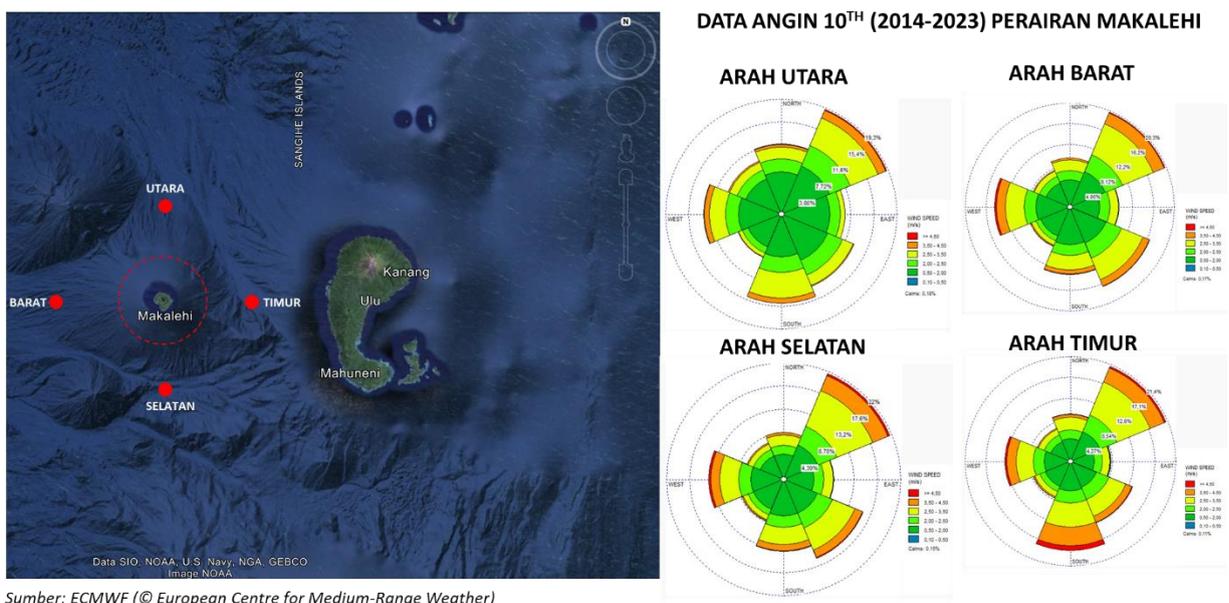
- Lfi = panjang fetch ke-i
- α_i = sudut pengukuran fetch ke-i
- i = jumlah pengukuran fetch

Jumlah pengukuran “i” untuk tiap arah mata angin tersebut meliputi pengukuran-pengukuran dalam wilayah pengaruh fetch ($22,5^\circ$ searah jarum jam dan $22,5^\circ$ berlawanan arah jarum jam dari masing-masing arah mata angin). Pembentukan gelombang di perairan dalam (*deep water waves*) dianalisa dengan formula-formula berikut. Prosedur peramalan ini berlaku untuk kondisi gelombang tidak terbentuk penuh (*non-fully developed sea*), baik untuk kondisi fetch terbatas (*fetch limited condition*), maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*). Namun nilai jarak fetch melebihi dari 200 km maka jarak fetch dibatasi, berdasarkan Penaksiran Gelombang (Goda, 2010).



- H_S = tinggi gelombang signifikan
- T_P = periode puncak gelombang
- F = panjang efektif *fetch*
- U_A = faktor tekanan angin
- t = durasi angin

Gambar 2. Diagram alir proses peramalan gelombang berdasarkan data angin

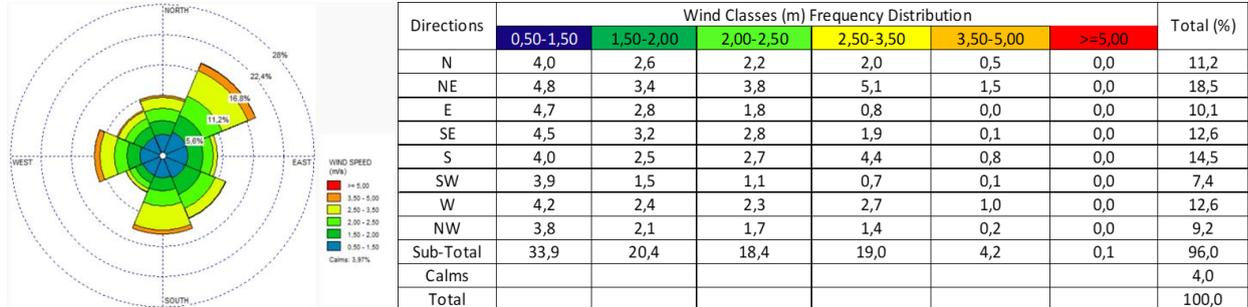


Sumber: ECMWF (© European Centre for Medium-Range Weather)

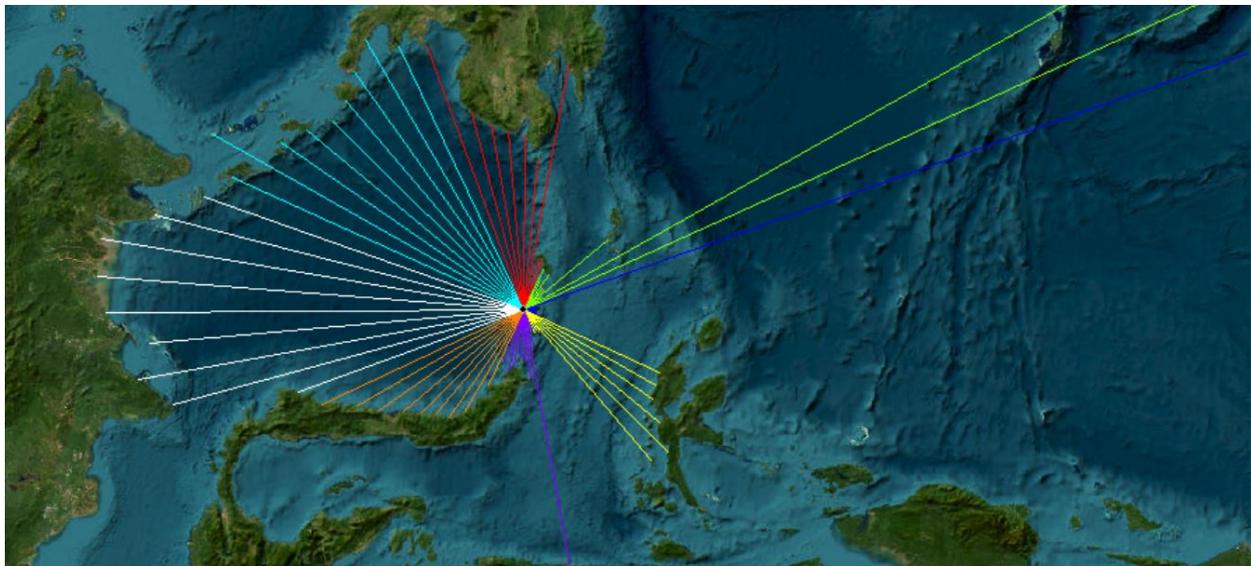
Gambar 3. Titik dan Mawar Angin setiap Arah dari ECMWF di Sekitar Pulau Makalehi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data diagram mawar dan tabel distribusi frekuensi selama 10 tahun terlihat angin dominan berasal dari arah Timur laut dan Selatan dengan frekuensi sebesar 14-18.5 %. Kecepatan angin tertinggi mencapai 12.74 m/s. Sementara kecepatan angin dengan intensitas tertinggi berada pada kisaran 0.5-3.5 m/s. Setelah melihat sebaran angin dan kondisi angin selama 10 tahun dilakukan plotting untuk melihat kondisi angin per-bulan agar dapat menganalisis kondisi angin ketika terjadi perbedaan musim. Pada musim barat yang terjadi pada bulan Desember-Februari angin dominan bergerak dari arah barat, utara dan timur laut dengan kecepatan 2-3.5 m/s. Sementara saat musim timur yang terjadi pada bulan Juni-Agustus angin cenderung bergerak dari arah Selatan dan tenggara 2.5-3.5 m/s.



Gambar 4. Windrose Total 10th dan Prosentase Angin di perairan Pulau Makalehi (2014-2023)



Sumber: Google Earth 2024, diolah kembali.

Gambar 5. Titik Fetch di Pulau Makalehi

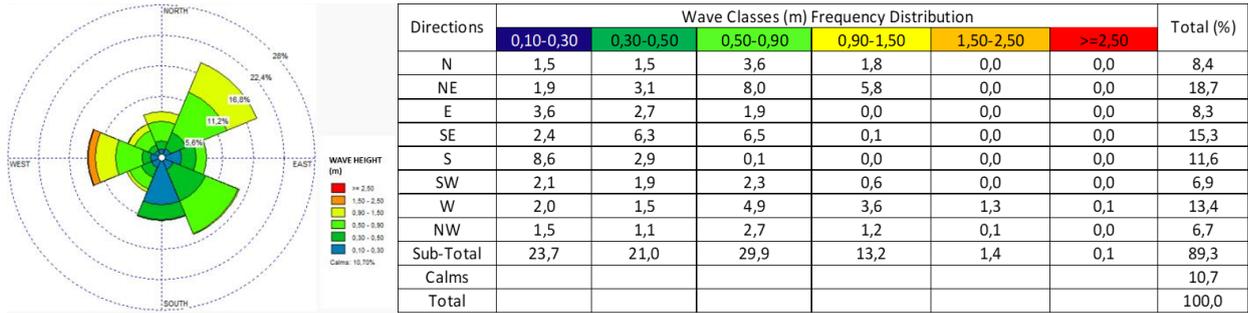
Didapatkan hasil total jarak fetch setiap arah :

Tabel 2. Kesimpulan Total Panjang Fetch Efektif Pulau Makalehi

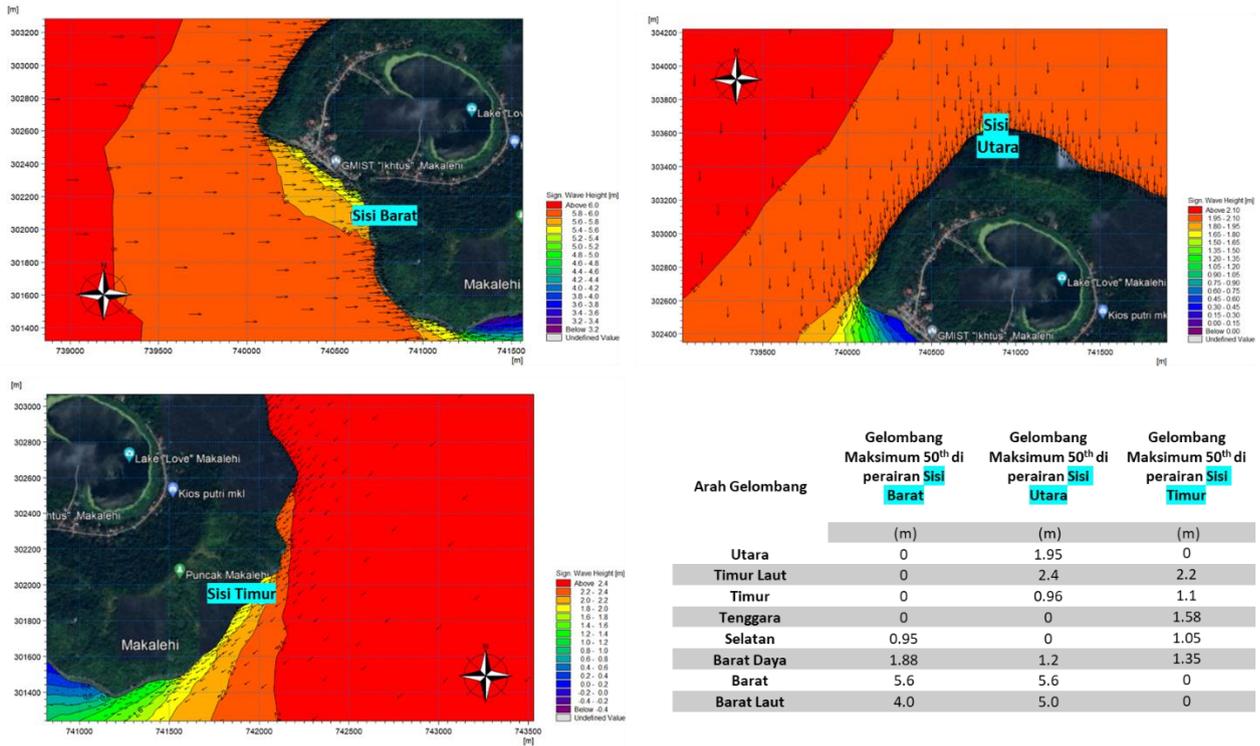
| Arah | Fetch Efektif (m) |
|------|--------------------|
| N | 333484.0659 |
| NE | 392178.5009 |
| E | 180842.4626 |
| SE | 243680.0996 |
| S | 41550.86077 |
| SW | 298140.3267 |
| W | 735605.0739 |
| NW | 585930.0401 |

Pulau makalehi yang merupakan pulau kecil dengan karakteristik perairan terbuka dan semi terbuka di segala sisinya menyebabkan sumber gelombang berasal dari 8 sisi mata angin. Sisi Barat dan Utara berbatasan dengan perairan sangat terbuka yaitu Laut Celebes dan Philipina. Sementara sisi timur dan selatan karakteristik perairannya semi terbuka karena berbatasan dengan daratan Pulau Siau dan sekitarnya, Sumatera Utara. Berdasarkan hasil pemodelan gelombang dari delapan arah mata angin yang kemudian di analisis ketinggian gelombang di Pulau Makalehi. Sisi Barat makalehi gelombang tenang dari sisi timur,

sisi selatan tenang dari arah gelombang utara, begitupun sisi timur tenang ketika musim gelombang dari barat.



Gambar 6. Waverose Total 10th dan Prosentase Angin di perairan Pulau Makalehi (2014-2023)



Gambar 7. Titik dan Mawar Angin setiap Arah dari ECMWF di Sekitar Pulau Makalehi

Tabel 3. Prosentase Musim Gelombang yang terjadi selama 10th di Pulau Makalehi

| Directions | Persentase Kejadian [%] Gelombang Bulanan di Pulau Makalehi | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Agu | Sep | Okt | Nov | Des |
| 337.5 - 22.5 Derajat | N | 23.0% | 19.0% | 18.1% | 8.3% | 1.6% | 0.6% | 0.2% | 0.4% | 0.6% | 1.2% | 18.1% |
| 22.5 - 67.5 Derajat | NE | 33.0% | 50.6% | 51.1% | 34.2% | 7.9% | 1.6% | 0.4% | 0.2% | 1.2% | 3.0% | 24.3% |
| 67.5 - 112.5 Derajat | E | 3.5% | 3.4% | 5.4% | 12.4% | 20.1% | 11.9% | 4.6% | 3.4% | 6.5% | 13.3% | 4.1% |
| 112.5 - 157.5 Derajat | SE | 0.3% | 0.3% | 2.2% | 2.2% | 21.5% | 30.5% | 33.1% | 34.9% | 32.5% | 23.9% | 2.8% |
| 157.5 - 202.5 Derajat | S | 0.1% | 0.0% | 0.5% | 0.8% | 7.0% | 15.9% | 33.7% | 41.4% | 26.2% | 11.0% | 0.4% |
| 202.5 - 247.5 Derajat | SW | 2.1% | 1.0% | 1.8% | 4.2% | 8.3% | 11.7% | 12.3% | 6.7% | 11.8% | 11.5% | 7.2% |
| 247.5 - 292.5 Derajat | W | 18.5% | 12.3% | 10.4% | 19.9% | 11.0% | 9.4% | 5.6% | 3.3% | 6.9% | 16.5% | 28.9% |
| 292.5 - 337.5 Derajat | NW | 16.4% | 10.4% | 8.0% | 5.9% | 2.7% | 2.1% | 0.9% | 1.8% | 3.5% | 12.1% | 15.6% |
| Calms | | 3.1% | 3.0% | 4.4% | 12.1% | 19.9% | 16.3% | 9.2% | 8.8% | 12.5% | 16.1% | 4.5% |
| Total | | 96.9% | 97.0% | 95.6% | 87.9% | 80.1% | 83.7% | 90.8% | 87.5% | 83.9% | 82.0% | 95.5% |
| Arah Dominan | | NE | NE | NE | NE | SE | SE | S | S | SE | SE | NE |
| Tinggi Gelombang (Max. Bulanan) 10TH | | 2.8 m | 2.8 m | 2.8 m | 2.8 m | 1.7 m | 1.7 m | 1.1 m | 1.1 m | 1.7 m | 1.7 m | 2.8 m |

Berdasarkan hasil dari simulasi data gelombang 10th di Pulau Makalehi maka dapat disimpulkan pola musim gelombang di Pulau Makalehi cenderung dominan dari sisi Timur Laut dengan masa pola musim dalam satu tahun adalah 5 bulan yaitu bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni. Kemudian musim selatan terjadi hanya 2 bulan yaitu bulan Juli s.d Agustus, selanjutnya musim barat terjadi pada bulan Desember. Meskipun musim barat hanya terjadi satu bulan dalam satu tahun ketinggian gelombang berdasarkan analisis selama 10th musim barat ini merupakan gelombang tertinggi dari musim lainnya yaitu dapat mencapai ketinggian gelombang sampai 4.8 m.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil kesimpulan pola musim gelombang yang

terjadi di Pulau Makalehi yaitu dominansi kejadian musim gelombang terjadi pada musim timur laut yang terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni sedangkan gelombang tertinggi terjadi pada bulan Desember yang bergerak dari arah barat. Sehingga dalam hal ini Pulau makalehi secara keseluruhan wilayahnya sangat dipengaruhi oleh musim gelombang dari setiap arah. Jika dikaitkan dengan operasional pelabuhan penyeberangan melihat hasil dari pola musim gelombang sisi barat atau barat daya lebih mendapatkan masa operasi yang cukup baik dibandingkan sisi-sisi wilayah lainnya. Namun demikian, Pulau Makalehi ini tidak hanya cukup satu pelabuhan jika ingin mendapatkan kunjungan kapal selama satu tahun penuh. Sehingga pelabuhan satunya menjadi sebagai alternatif untuk menunjang pola pergerakan penyeberangan yaitu dapat direkomendasikan sisi selatan atau sisi barat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Coastal Engineering Manual – Part II, US Army Corps of Engineers (Download: <http://chl.erdc.usace.army.mil>)
- Dean, R.G. and Dalrymple, R. A. (1991). “Water waves mechanics for engineers and scientists”. World Scientific.
- DHI : Denmark. DHI. 2017. Spectral Wave Module Scientific Document. DHI : Denmark.
- DHI Water and Environment.. MIKE 21 Hydrodynamic, Denmark.
- DHI. 2017. Flow Model FM Module Scientific Document.
- Dishidros TNI AL. (2009). Peta nomor 400 dan 340, Minahasa Utara
- Goda, Y. (2010). Random Seas and Design of Maritime Structures, 3rd Edition. London: World Scientific.
- Irwan, A., Oktavia, P., & Rusdiana, D. (2021). Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Rehabilitasi Suaka Margasatwa Muara Angke–Jakarta Utara. *JOURNAL OF APPLIED SCIENCE (JAPPS)*, 3(2), 057-068.
- Marschiavelli, M. I. C. (2007). Penilaian keterancaman terhadap bencana bagi Pulau Makalehi, Sulawesi Utara, Indonesia.
- Soejono Kramadibrata. 2001. “Perencanaan Pelabuhan”, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indones

