

Studi Transformasi Gelombang Di Pantai Sebelah Timur Pulau Tarakan Metode *Shore Protection Manual* (SPM, 1984)

Wahyu Hidayat*¹, Edy Utomo², Aswar Amiruddin³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan,
Jalan Amal Lama No. 1 Kota Tarakan

e-mail: wahyu132738@gmail.com, edy.utomo99@gmail.com, [*3aswaramir89@gmail.com](mailto:aswaramir89@gmail.com)

Abstract

Tarakan Island is a part of North Kalimantan Province. The coastline of Tarakan Island is long \pm 28 km. Some areas have sandy beaches that slope towards the sea. This area is known as Amal Beach. On the coast In Amal Baru, there has been damage to the coastline caused by abrasion with a level of damage reaching 66,67%, which was heavily damaged and 33,33% was moderately damaged. The rate of change in this coastline is classified as 2-5 m/year.. There is damage in the Amal Baru beach area caused by abrasion. Therefore, protection is needed along the Amal coast in the form of beach safety buildings. However, in planning coastal safety buildings. Sea waves are one of the important parameters that need to be taken into account. Direct collection of ocean wave data has a high level of technical difficulty and expensive operational costs. This can be overcome by conducting wave forecasting, so that you can find out wave characteristics such as height, direction and duration of the wave. In this research, the SPM (*Shore Protection Manual*) method was used to calculate wave forecasting based on wind data over a 10 year period obtained from ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*). Data from forecasting results using the SPM 1984 method obtained a maximum wave height value of 2.10 meters with a period of 7,63 seconds which occurred in 2016. Meanwhile, the predicted wave height in the next 25 years using the Weibull method was 2,34 meters with a period of 7,74 seconds. The high value of breaking waves in the next 25 years is 1,69 meters and occurs at a depth of 4.03 meters with a wave incident angle of $28,90^\circ$.

Keywords: Abrasion, Amal Beach, ECMWF, *Shore Protection Manual*, Tarakan Island, Wave forecasting, Weibull.

Abstrak

Pulau Tarakan merupakan salah satu bagian dari Provinsi Kalimantan Utara. Garis pantai pulau Tarakan memiliki panjang \pm 28 km. pada beberapa daerah memiliki pantai berupa pasir yang landai ke arah laut, Kawasan ini dikenal dengan nama Pantai Amal. Pada pesisir pantai Amal Baru telah terjadi kerusakan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dengan tingkat kerusakan mencapai 66,67% yang mengalami rusak berat dan 33,33% mengalami rusak sedang, laju dari perubahan garis pantai ini berada pada klasifikasi 2-5 m/tahun. Adanya kerusakan di daerah pantai Amal Baru yang diakibatkan oleh abrasi. Maka, diperlukannya perlindungan di sepanjang pantai Amal berupa bangunan pengaman pantai. Namun, dalam merencanakan bangunan pengaman pantai. gelombang laut merupakan salah satu parameter penting yang perlu diperhitungkan. pengambilan data gelombang laut secara langsung memiliki tingkat kesulitan teknis yang tinggi dan biaya operasional yang mahal. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan peramalan gelombang, agar dapat mengetahui karakteristik gelombang seperti tinggi, arah, dan durasi gelombang. Pada penelitian ini untuk perhitungan peramalan gelombang digunakan metode SPM (*Shore Protection Manual*) Berdasarkan data angin dalam kurun waktu 10 tahun yang diperoleh dari ECMWF (*European Center*

for Medium-Range Weather Forecasts). Data dari hasil peramalan dengan metode SPM 1984 didapatkan Nilai tinggi gelombang maksimum 2,10 meter dengan periode 7,63 detik yang terjadi di tahun 2016. Sedangkan yang diprediksi tinggi gelombang pada 25 tahun yang akan datang dengan metode weibull 2,34 meter dengan periode 7,74 detik. Dengan nilai tinggi gelombang Pecah di 25 tahun yang akan datang adalah 1,69 meter dan terjadi pada kedalaman 4,03 meter dengan sudut datang gelombang 28,90°.

Kata kunci: Abrasi, ECMWF, Pantai Amal, Peramalan gelombang, Pulau Tarakan, Shore Protection Manual, Weibull.

1. Pendahuluan

Pulau Tarakan merupakan salah satu bagian dari Provinsi Kalimantan Utara yang memiliki posisi strategis, berada di depan tiga muara sungai besar, yaitu Sungai Kayan, Sungai Sesayap, dan Sungai Sebuku. sungai-sungai tersebut merupakan pusat dalam pertumbuhan Provinsi Kalimantan Utara, terutama Pulau Tarakan yang dikelilingi lautan (Bakri, 2016). pulau Tarakan memiliki garis pantai yang membentang dari sisi utara hingga ke sisi selatan memiliki Panjang kurang lebih 28 km. Pada beberapa daerah memiliki pantai berupa pasir yang landai ke arah laut, kawasan ini dikenal dengan nama Pantai Amal, yang sejak dulu dihuni oleh masyarakat bahari. kebutuhan masyarakat pesisir akan akses jalan sangat penting untuk mengantarkan hasil tangkapan ikan dari nelayan maupun hasil dari budidaya rumput laut untuk didistribusikan ke distributor Kota Tarakan. Adanya infrastruktur jalan lingkar yang dibangun melintasi kawasan pantai ini, memberikan dampak besar pada peningkatan aksesibilitas ke kawasan pesisir pantai, serta mendorong tumbuhnya kegiatan perekonomian masyarakat pesisir di daerah tersebut (Bakri & Prihartanto, 2020).

Pada pesisir pantai Amal Baru telah terjadi kerusakan garis pantai yang diakibatkan oleh abrasi dengan tingkat kerusakan mencapai 66,67% yang mengalami rusak berat dan 33,33% mengalami rusak sedang, laju dari perubahan garis pantai ini berada pada klasifikasi 2-5 m/tahun (Bakri dkk., 2023). Adanya kerusakan di daerah pantai Amal Baru yang diakibatkan oleh abrasi. Maka, diperlukannya perlindungan di sepanjang pantai Amal Baru berupa bangunan pengaman pantai dengan tipe *Groin* dan tipe *Detached Breakwater* yang direkomendasikan oleh Bakri dkk. (2023). Menurut Bembuain & Samaila (2022) dalam merencanakan bangunan pengaman pantai, gelombang laut merupakan salah satu parameter penting yang perlu diperhitungkan. Namun, pengambilan data gelombang di laut secara langsung memiliki tingkat kesulitan teknis yang tinggi dan biaya operasional yang mahal. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan peramalan gelombang, agar dapat mengetahui karakteristik gelombang seperti tinggi, arah, dan durasi gelombang.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat transformasi tinggi gelombang yang terjadi pada pantai jambore pulau Tarakan dengan berdasar pada data angin dari ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) yang merupakan data reanalisis dalam format NetCdf (*NET Common Data File*). data angin yang diambil dari ECMWF merupakan data angin pada setiap jam, setiap hari, dan setiap bulan selama 10 tahun yaitu dari tahun 2013 sampai dengan 2022 yang diunduh melalui laman website *Copernicus*. Dalam penelitian ini, prediksi pembangkit gelombang menggunakan metode *Shore Protection Manual* (SPM, 1984) yang dikeluarkan oleh *US Army Corps of Engineer*. Dalam metode SPM 1984 kecepatan angin diubah menjadi faktor tegangan angin (*Wind Stress Factor*) dengan melakukan koreksi dan konversi, seperti koreksi terhadap ketinggian, stabilitas, dan efek lokasi. Pada penelitian ini juga melakukan analisis tinggi gelombang jangka panjang dengan menggunakan metode distribusi Weibull hingga 25 tahun yang akan datang.

2. Metode Penelitian

Untuk membantu dan menunjang penelitian ini, metode yang digunakan yaitu dengan pengumpulan data. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer yang merupakan data koordinat yang diambil pada lokasi penelitian dengan *Hand GPS* dan dokumentasi berupa foto yang diambil dilokasi penelitian untuk memperlihatkan kondisi yang ada pada lokasi penelitian.

Penelitian ini dilakukan di Pantai Jambore dengan koodinat 3°15'46.80" Lintang Utara dan 117°39'19.00" Bujur Timur. Pantai ini terletak pada daerah Timur Pulau Tarakan yang berhadapan Langsung dengan laut lepas.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2. Kondisi Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini data sekunder yang dikumpulkan yaitu berupa data angin dari ECMWF yang diambil selama 10 tahun yang dimulai dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2022 yang diambil melalui laman [website https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/](https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/), dan data batimetri yang bersumber dari BIG (Badan Informasi Geospasial) yang diakses melalui laman <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/batnas>.

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah pendekatan analisis kuantitatif terhadap bagian-bagian dan fenomena serta hubungan terjadinya perubahan tinggi gelombang laut. Analisis dilakukan dengan pengembangan model matematis, teori dan hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam, yaitu angin dan gelombang (Utomo & Asta, 2023). Angin merupakan salah satu faktor pembangkit gelombang. angin bertiup di atas permukaan air yang mengakibatkan gangguan pada permukaan air, sehingga muncul riak-riak kecil di atas air (Triatmodjo, 2016). Jika angin bertiup lebih lama di atas air, maka akan terbentuk gelombang (Muliati, 2020). Oleh karena itu nilai kecepatan angin dan arah datang angin merupakan parameter utama dalam penelitian ini.

Data angin yang diunduh akan menunjukkan kecepatan angin dalam dua arah, U_{10} (kecepatan angin pada ketinggian 10 meter dalam arah x) dan V_{10} (kecepatan angin pada ketinggian 10 meter dalam arah y) Oleh karena itu, perlu diubah menjadi kecepatan angin total dalam arah resultan. Persamaan yang digunakan untuk mengubah kecepatan angin pada arah resultan sebagai berikut.

$$V = \sqrt{U_{10}^2 + V_{10}^2} \quad (1)$$

$$\theta = 90 - \tan^{-1} \frac{V_{10}}{U_{10}}; \text{for } U_{10} > 0; V_{10} > 0$$

$$\theta = 90 + \tan^{-1} \frac{V_{10}}{U_{10}}; \text{for } U_{10} > 0; V_{10} < 0$$

$$\theta = 270 - \tan^{-1} \frac{V_{10}}{U_{10}}; \text{for } U_{10} < 0; V_{10} < 0$$

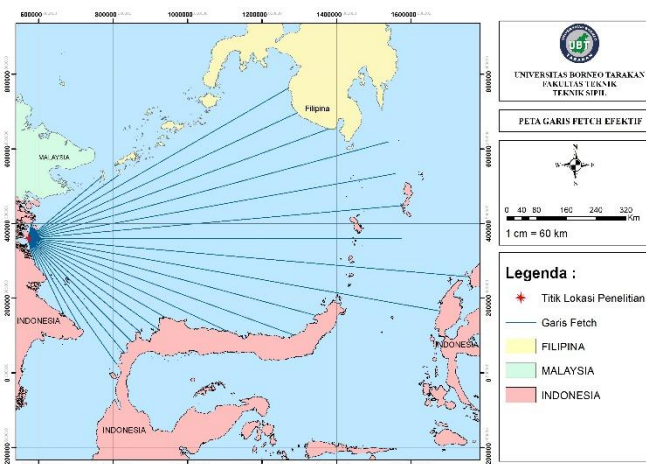
$$\theta = 270 + \tan^{-1} \frac{V_{10}}{U_{10}}; \text{for } U_{10} < 0; V_{10} > 0 \quad (2)$$

dimana, V adalah kecepatan angin dalam satuan m/s, U_{10} adalah data kecepatan angin arah x dalam satuan m/s, dan V_{10} adalah kecepatan angin arah y dalam satuan m/s dan dimana θ merupakan sudut arah datang angin dalam satuan derajat ($^{\circ}$). Arah angin akan dikelompokkan menjadi 8 arah mata angin dengan interval pembagian sebesar 5° . Arah angin yang dihasilkan dari data ECMWF merupakan arah angin berhembus dari ke.

Dari titik pembangkitan angin dibuat garis-garis *fetch*, *Fetch* adalah jarak permukaan laut yang terpengaruh saat angin bertiup. Agar dapat menghasilkan panjang *fetch* yang akurat, maka pemodelan *fetch* dilakukan pada peta dasar dengan skala 1:1. Peta dasar yang digunakan adalah peta RBI (Rupa Bumi Indonesia), Peta RBI didapatkan melalui laman BIG (Badan Informasi Geospasial) dengan system koordinat WGS 1984. Apabila jarak yang di ukur dari titik pengamatan >1000 km maka jarak *fetch* dianggap 1000 km. Hal ini mengacu kepada nomogram SPM 1984 (Fauzi & Muliati, 2021). Pada gambar 3 ditunjukkan lokasi penelitian dilakukan penggambaran *fetch* yang dimulai pada titik lokasi pembangkitan angin. Penentuan panjang *fetch* efektif dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (3)$$

Dimana, F_{eff} adalah panjang *fetch* efektif dengan satuan km atau meter, X_i adalah penjang *fetch* yang diukur dalam arah tertentu dari titik yang ditinjau sampai ke ujung akhir *fetch* yang mengenai daratan dalam satuan km atau meter, α adalah sudut simpangan antara jalur *fetch* yang ditinjau terhadap arah angin tertentu.



Gambar 3. Titik lokasi Penelitian dan penggambaran Fetch

Adapun salah satu data penting yaitu data Batimetri di sekitar lokasi penelitian. Data batimetri yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari Badan Informasi Geospasial, yang dapat diakses melalui laman <https://tanahair.indonesia.go.id>. Pengembangan data model gridded Batimetri Nasional dimulai dari perhitungan data free air gravity anomaly, sampai menjadi data Batimetri dengan menggunakan Gravity Geological Method (CGM) (Utomo & Asta, 2023).

Metode Peramalan Gelombang pada penelitian ini menggunakan metode *Shore Protection Manual* yang berupa pedoman yang dipakai dalam rekayasa teknik pantai (coastal engineering). Dalam pendekatan SPM 1984, kecepatan angin harus diubah menjadi U_A (Faktor Tekanan Angin/*Wind Stress Factor*), dengan melakukan penyesuaian dan transformasi terhadap variabel ketinggian, stabilitas, dan lokasi. Penelitian ini tidak melakukan penyesuaian terhadap variabel ketinggian, karena data angin yang digunakan berasal dari pengukuran pada ketinggian 10 meter (U_{10}). Penyesuaian stabilitas yang terkait dengan perbedaan suhu udara di lokasi angin dan air di lokasi gelombang terjadi dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$U = R_T U_{10} \quad (4)$$

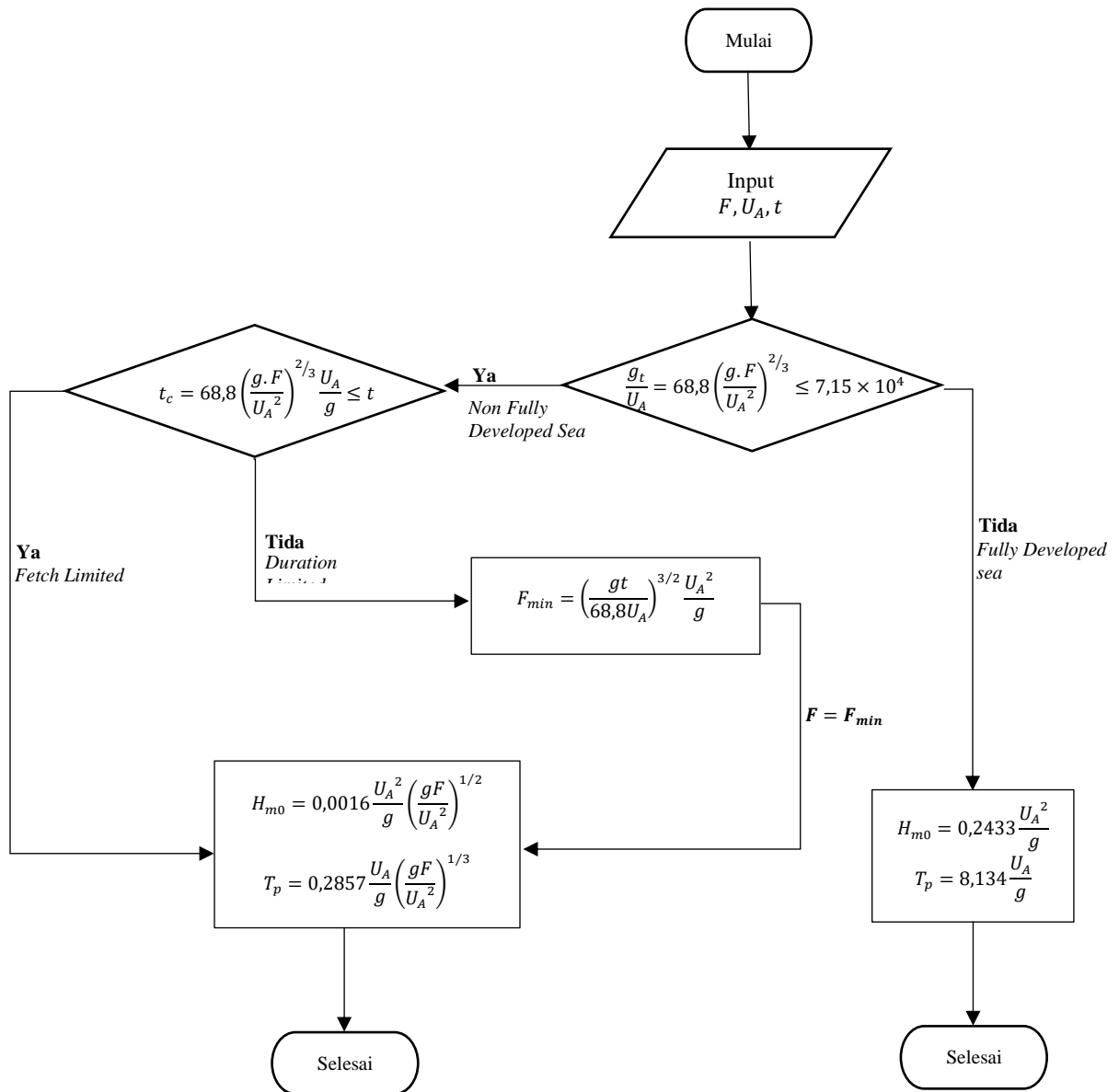
Dimana, U merupakan kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s), U_{10} adalah kecepatan angin sebelum dikoreksi (m/s), dan R_T koefisien stabilitas, nilainya didapat dari grafik pada SPM 1984. Karena titik lokasi pembangkitan angin yang didapatkan dari ekstraksi data ECMWF berada di lautan, maka koreksi efek lokasi tidak dilakukan, sehingga dinyatakan $U = U_w$. Selanjutnya nilai kecepatan angin perlu untuk dikonversikan menjadi faktor tegangan angin, yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (5)$$

Tidak dilakukan koreksi efek lokasi karena data yang digunakan berasal dari angin ECMWF yang diperoleh di perairan laut bukan di daratan. Dalam metode SPM 1984 perlu ditentukan terlebih dahulu kondisi pembentukan gelombang yang disebabkan oleh angin, apakah termasuk dalam pembentukan yang sempurna (*Fully developed Sea*) atau tidak sempurna (*Non-Fully Developed Sea*). Persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan kondisi ini adalah sebagai berikut.

$$\frac{g t}{U_A} = 68,8 \left(\frac{g^F}{U_A^2} \right)^{\frac{2}{3}} \leq 7,15 \times 10^4 \quad (6)$$

Dimana g , adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), U_A adalah kecepatan angin dalam satuan (m/s), F adalah panjang *fetch* dari tinjauan arah hembusan angin dalam satuan (meter), dan t adalah durasi angin bertiup dalam satuan (detik). Dalam mencari nilai durasi (t) pada persamaan 2.6, akan memungkinkan untuk menentukan apakah kondisi pembangkitan gelombang akibat angin adalah sempurna atau tidak sempurna dengan membandingkan nilai hasil $7,15 \times 10^4$. Jika nilai durasi melebihi $7,15 \times 10^4$, maka gelombang dianggap sempurna, yang berarti gelombang terbentuk sepenuhnya oleh angin, sehingga nilai tinggi gelombang (H_{m0}) dan periodenya (T_p) dapat langsung ditentukan. Namun, jika nilai durasi kurang dari atau sama dengan $7,15 \times 10^4$, gelombang dianggap tidak sempurna, yang berarti pembangkitan gelombang tergantung pada dua kondisi, yaitu *fetch limited* atau *duration limited*. Penjelasan alur metode SPM 1984 dapat dilihat pada gambar 2 (Muliati, 2020).



Gambar 4. Bagan Alir Metode SPM 1984

Selanjutnya, setelah tinggi gelombang dan periode pada setiap hari dalam 10 tahun terakhir didapatkan dengan metode SPM 1984, dilakukan klasterisasi tinggi gelombang maksimum yang terjadi. Sehingga didapatkan nilai tinggi gelombang maksimum dan periodenya pada setiap tahun. Analisis tinggi gelombang laut jangka panjang diolah dengan menggunakan Metode Distribusi Weibull. Panjang dan Cepat rambat gelombang di laut dalam atau di titik awal pembangkitan gelombang, ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$L_0 = 1,56T^2 \tag{7}$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T} \tag{8}$$

Dimana, L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam, T adalah periode awal pembangkitan gelombang, dan C_0 adalah cepat rambat gelombang di laut dalam. Tinggi gelombang gelombang di laut transisi dan dangkal dapat di hitung, berdasarkan tinggi gelombang laut dalam dengan persamaan berikut.

$$H = K_S K_r H_0 \quad (9)$$

Dimana, Dimana koefisien pendangkalan K_S merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air. H_0 merupakan tinggi gelombang laut dalam dan K_r merupakan koefisien refraksi yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (10)$$

α_1 merupakan sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang di tinjau, yang didapatn dari persamaan berikut.

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_0}\right) \sin \alpha_0 \quad (11)$$

Dimana α_0 adalah sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai dan C_l adalah cepat rambat gelombang di laut dalam. K_S merupakan koefisien pendangkalan yang ditentukan dengan persamaan berikut.

$$K_S = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_1 L_1}} \quad (12)$$

Dimana nilai n_1 dapat diambil dalam tabel lampiran A-1 (Triatmodjo, 2016). Transformasi Gelombang ke arah pantai tidak hanya berdasarkan pada perubahan tinggi gelombang, namun juga perlu untuk menentukan kondisi gelombang pecah. Untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah digunakan persamaan berikut.

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3,3(H_0/L_0)^{1/3}} \quad (13)$$

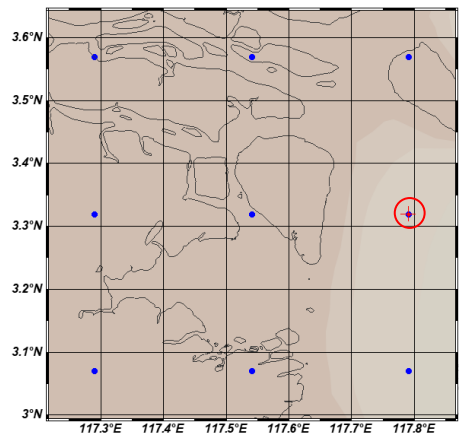
$$\frac{d_b}{H_b} = 1,28 \quad (14)$$

Ketika gelombang bergerak ke arah perairan dangkal, kemiringan batasnya bergantung pada perbandingan kedalaman relatif d/L dan kemiringan dasar laut m . Gelombang yang berasal dari perairan dalam dan menuju ke pantai akan mengalami peningkatan kemiringan hingga akhirnya menjadi tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang dikenal sebagai kedalaman gelombang pecah db , serta tinggi gelombang pecah Hb .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Data Angin

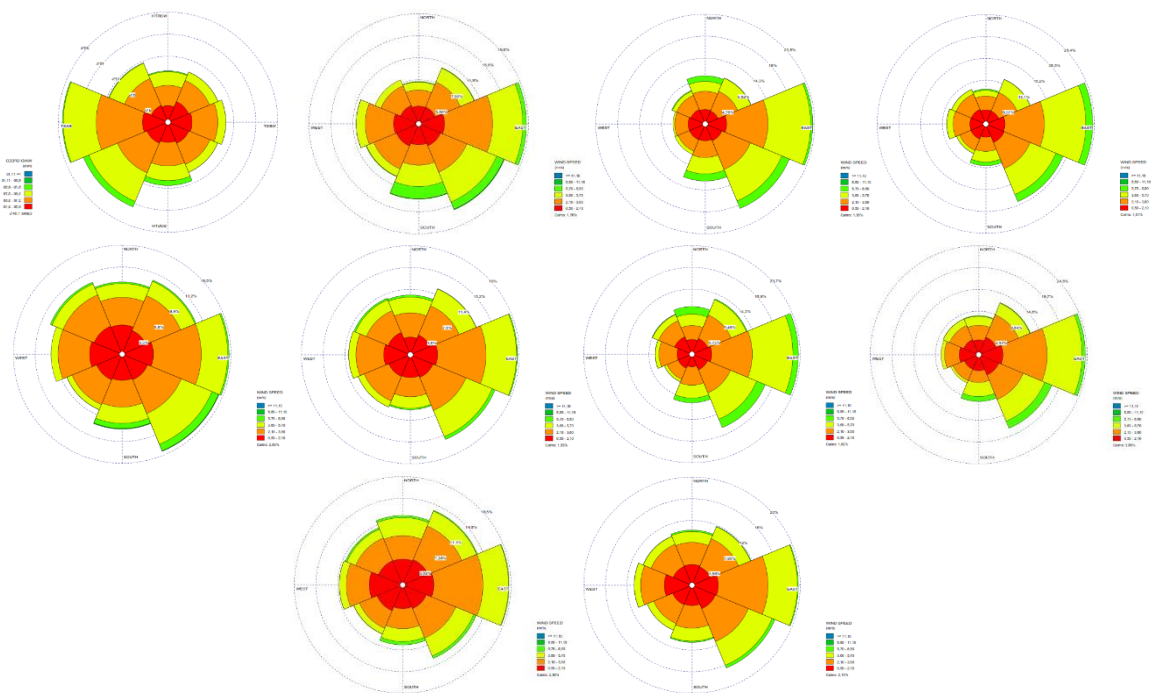
Data angin yang di analisa pada penelitian ini merupakan data angin ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). data angin diambil dengan rentang waktu 10 tahun, yaitu dari tahun 2013 sampai dengan tahun 2022. Data ini perlu diolah terlebih dahulu menggunakan bantuan software ODV (*Ocean Data View*). Hasil olahan Data dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 5. Titik Stasiun ECMWF

Titik stasiun yang yang diberi tanda merupakan titik pengambilan sample data angin yang digunakan dalam penelitian ini. Karena letaknya yang berada tepat di depan garis pantai Pulau Tarakan. Berdasarkan titik Stasiun tersebut didapatkan 87.648 data angin yang perlu untuk diolah.

Setelah data tersebut diolah dan didapatkan nilai dari arah datang dan kecepatan angin, maka selanjutnya akan dapat dimodelkan dalam bentuk mawar angin (wind rose). Dari hasil permodelan ini akan dapat diketahui besar dan kecepatan arah angin dominan yang terjadi disetiap tahunnya selama 10 tahun.



Gambar 6. Wind Rose 2013-2022

Didapatkan juga tabel distribusi frekuensi yang diperoleh dari hasil pengolahan *software* WRPLOT. Dengan tampilan tabel sebagai berikut.

Tabel 1. Distribusi Frekuensi, januari 2013 – Desember 2022

Arah Angin	Klasifikasi Kecepatan Angin (m/s)						Total (%)
	0,5-2,10	2,10-3,60	3,60-5,70	5,70-8,80	8,80-11,10	>=11,10	
Utara (N)	3,49	3,65	2,17	0,48	0,00	0,00	9,79
Timur Laut (NE)	3,66	5,33	2,90	0,12	0,00	0,00	12,02
Timur (E)	4,77	8,72	6,61	0,54	0,00	0,00	20,65
Tenggara (SE)	4,29	5,93	5,47	1,23	0,02	0,00	16,95
Selatan (S)	3,61	3,65	2,75	0,93	0,02	0,00	10,96
Barat Daya (SW)	3,95	3,52	0,99	0,02	0,00	0,00	8,49
Barat (W)	4,44	4,16	1,127	0,01	0,00	0,00	9,74
Barat Laut (NW)	3,93	4,02	1,49	0,12	0,00	0,00	9,57
Sub-Total	32,16	38,99	23,53	3,46	0,04	0,00	98,17
Calms							1,81
Missing/ Incomplete							0,01
Total							100,00

Berdasarkan hasil dari pengolahan data angin ECMWF selama 10 tahun terakhir dan dalam setiap jam, menunjukkan bahwa arah angin dominan terjadi dari arah timur menuju ke arah barat Pulau Tarakan dengan persentase 20,65%. Sehingga dapat diperkirakan bahwa arah pembangkitan gelombang didominasi dari arah Timur Pulau Tarakan. kecepatan angin terbesar terdapat pada rentang 2,10 – 3,60 m/s dengan persentase 38,99%. Selama 10 tahun terakhir didapatkan juga kecepatan angin maksimum dengan nilai 9,92 m/s yang terjadi di tahun 2014.

3.2. Analisis *Fetch*

Pembentukan *fetch* dilakukan pada 8 arah mata angin, karena data angin yang dipergunakan memiliki titik pengambilan data di wilayah lautan. Adapun hasil pengukuran panjang *fetch* efektif ditunjukkan pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan nilai panjang *fetch* efektif untuk masing-masing arah datang angin yang akan membangkitkan gelombang. Berdasarkan hasil perhitungan *fetch* efektif diperoleh panjang *fetch* efektif maksimum berada pada arah Timur dengan nilai 971,45 km.

Tabel 2. Panjang Fetch Efektif pada 8 Arah Mata Angin

Arah Fetch	Panjang Fetch Efektif	
	km	m
Utara (N)	14,76	14756,29
Timur Laut (NE)	252,76	252762,20
Timur (E)	971,45	971447,80
Tenggara (SE)	393,32	393315,98
Selatan (S)	24,31	24306,46
Barat Daya (SW)	0,21	206,84
Barat (W)	0,16	155,05
Barat Laut (NW)	0,21	213,28

3.3. Analisa Pebangkitan Gelombang

Hasil perhitungan peramalan pembangkitan gelombang dapat dilihat pada tabel 3.

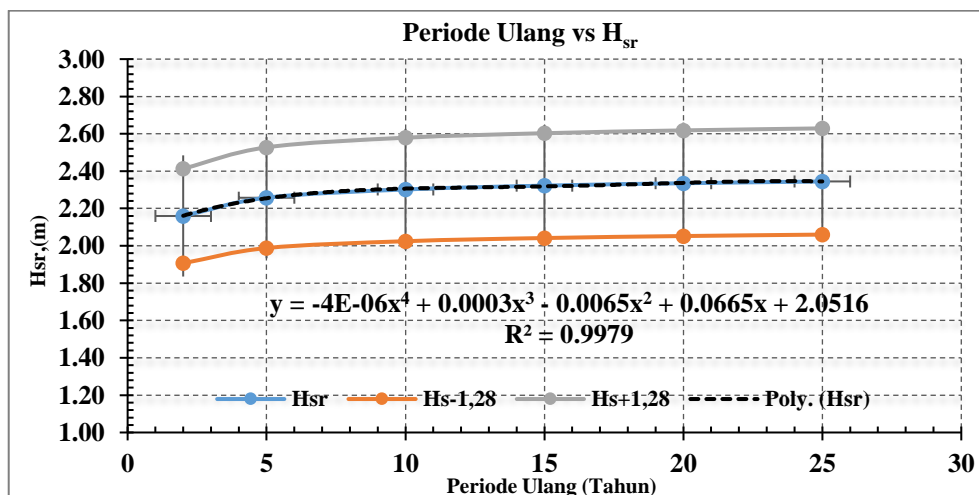
Tabel 3. Perhitungan Gelombang Pada Kondisi Sempurna

No.	Tahun	Bulan	Tanggal	Direction	Kecepatan	Keterangan Arah	g	Kondisi	Gelombang	
									Tinggi	Periode
752	2013	2	1	109,45697	7,62	Timur	9,81	Sempurna	1,44	6,32
1619	2014	3	9	106,73248	8,82	Timur	9,81	Sempurna	1,93	7,31
1980	2015	3	24	106,20149	7,63	Timur	9,81	Sempurna	1,44	6,33
922	2016	2	8	98,472276	9,20	Timur	9,81	Sempurna	2,10	7,63
2437	2017	4	12	102,68781	8,16	Timur	9,81	Sempurna	1,65	6,76
1453	2018	3	2	109,89358	8,11	Timur	9,81	Sempurna	1,63	6,73
1765	2019	3	15	108,41371	9,14	Timur	9,81	Sempurna	2,07	7,58
1791	2020	3	15	107,17659	8,86	Timur	9,81	Sempurna	1,95	7,35
6854	2021	10	13	72,111523	6,87	Timur	9,81	Sempurna	1,17	5,70
1814	2022	3	17	106,6587	7,37	Timur	9,81	Sempurna	1,35	6,11

Pada perhitungan pembangkitan gelombang dengan menggunakan metode SPM 1984, Gelombang Sempurna terjadi pada arah timur hal ini dapat dipengaruhi besarnya kecepatan angin, Selain itu hal ini juga dipengaruhi oleh panjang *fetch* efektif yang mana jika dilihat dari peta menunjukkan bahwa sisi Timur Pulau Tarakan memang berhadapan langsung dengan laut lepas. didapatkan juga hasil tinggi gelombang maksimum yaitu 2,10 meter yang terjadi pada tahun 2016 dengan kondisi Sempurna (*Fully Developed Sea*) yang dapat diartikan sebagai gelombang yang sepenuhnya terbangkitkan oleh angin, berdasarkan hasil analisa perhitungan tinggi gelombang dengan metode SPM 1984, maka digunakan tinggi gelombang dari arah timur untuk menghitung peramalan gelombang.

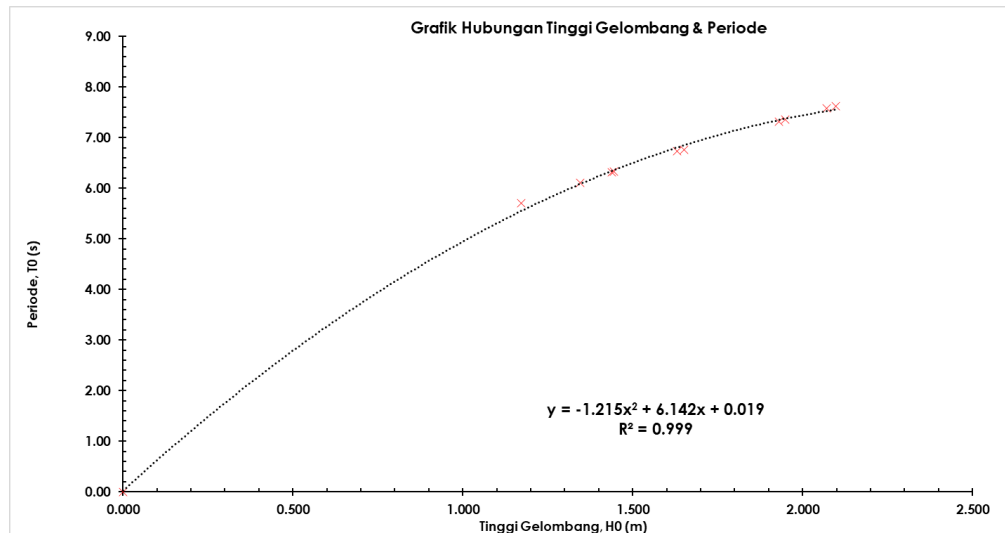
3.4. Analisis Prediksi Tinggi Gelombang Jangka Panjang

Analisa pada prediksi gelombang jangka panjang digunakan metode Weibull dengan kala ulang sampai pada 25 tahun mulai dari tahun 2022. Hasil Analisis Prediksi Tinggi Gelombang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 7. Grafik Prediksi Tinggi Gelombang Jangka Panjang

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3, dapat dinyatakan bahwa tidak terjadi peningkatan tinggi gelombang yang signifikan pada kala ulang waktu 25 tahun yang terletak pada tahun 2047, tinggi gelombang diperkirakan akan mencapai pada nilai 2,34 meter. dengan tingkat kepercayaan sebesar 99,79% dengan pendekatan regresi polynomial. Selanjutnya, periode gelombang ditentukan dengan acuan regresi yang sama dengan hasil ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 8. Grafik Hubungan Tinggi dan Periode Gelombang

Berdasarkan pada gambar 6 maka periode gelombang dapat ditentukan menggunakan pendekatan persamaan regresi yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai tinggi gelombang dan periode gelombang pada 25 tahun yang akan datang adalah $H_0 = 2,34$ meter, dan $T_0 = 7,74$ detik.

3.5. Analisis Transformasi Gelombang

Transformasi tinggi gelombang dipengaruhi oleh kedalaman perairan. Dari kondisi pasang tertinggi kemudian diukur kedalaman perairan, yang mana nilai elevasi dasar perairan menggunakan data BATNAS. Hal ini akan menyebabkan terjadinya perubahan pada tinggi gelombang, panjang gelombang dan cepat rambatnya berdasarkan fungsi kedalaman. Berikut ditampilkan analisis transformasi gelombang.

Tabel 4.a. Perhitungan Tranformasi Gelombang

No	α_0 (°)	d (m)	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	d/ L_0	d/L	Klasifikasi	L (m)	Tanh 2πd/L
1	45.00	90.00	2.34	7.74	93.47	0.9629	0.96292	Laut Dalam	93.47	1.000
2	45.00	70.00	2.34	7.74	93.46	0.7490	0.74907	Laut Dalam	93.45	1.000
3	44.99	60.00	2.34	7.74	93.44	0.6421	0.64249	Laut Dalam	93.39	0.999
4	44.95	30.00	2.34	7.74	93.38	0.3213	0.33140	Laut Transisi	90.52	0.969
5	44.93	15.00	2.23	7.68	89.14	0.1683	0.19855	Laut Transisi	75.55	0.848
6	43.20	10.00	2.01	7.46	73.53	0.1360	0.17160	Laut Transisi	58.27	0.793
7	35.46	5.00	1.80	7.13	62.91	0.0795	0.12274	Laut Transisi	40.74	0.648
8	27.37	1.00	1.64	6.83	47.18	0.0212	0.05940	Laut Transisi	16.83	0.357
9	17.32	0.50	1.92	7.33	29.94	0.0167	0.05247	Laut Transisi	9.53	0.318
10	6.10	0.10	2.40	7.76	7.69	0.0130	0.04610	Laut Dangkal	2.17	0.282

Tabel 4.b. Lanjutan Perhitungan Transformasi Gelombang

C_0 (m/s)	C (m/s)	$\sin \alpha_0$	$\sin \alpha_1$	α_1 (°)	$\cos \alpha_0 /$ $\cos \alpha_1$	K_r	n_0	n_1	K_s	H (m)
12.08	12.07	0.7071	0.7071	45.00	1.000	1.000	0.50	0.5001	1.000	2.34
12.07	12.07	0.7071	0.7070	44.99	1.000	1.000	0.50	0.5008	0.999	2.34
12.07	12.07	0.7070	0.7065	44.95	0.999	1.000	0.50	0.5025	0.998	2.34
11.71	11.70	0.7065	0.7062	44.93	1.000	1.000	0.50	0.5647	0.956	2.23
10.15	9.84	0.7062	0.6845	43.20	0.971	0.985	0.50	0.7072	0.913	2.01
9.22	7.82	0.6845	0.5801	35.46	0.895	0.946	0.50	0.7070	0.945	1.80
7.21	5.71	0.5801	0.4597	27.37	0.917	0.958	0.50	0.8457	0.955	1.64
3.81	2.46	0.4597	0.2977	17.32	0.930	0.964	0.50	0.9564	1.210	1.92
3.64	1.30	0.2977	0.1062	6.10	0.960	0.980	0.50	0.9655	1.276	2.40
0.99	0.28	0.1062	0.0300	1.72	0.995	0.997	0.50	0.9730	1.349	3.23

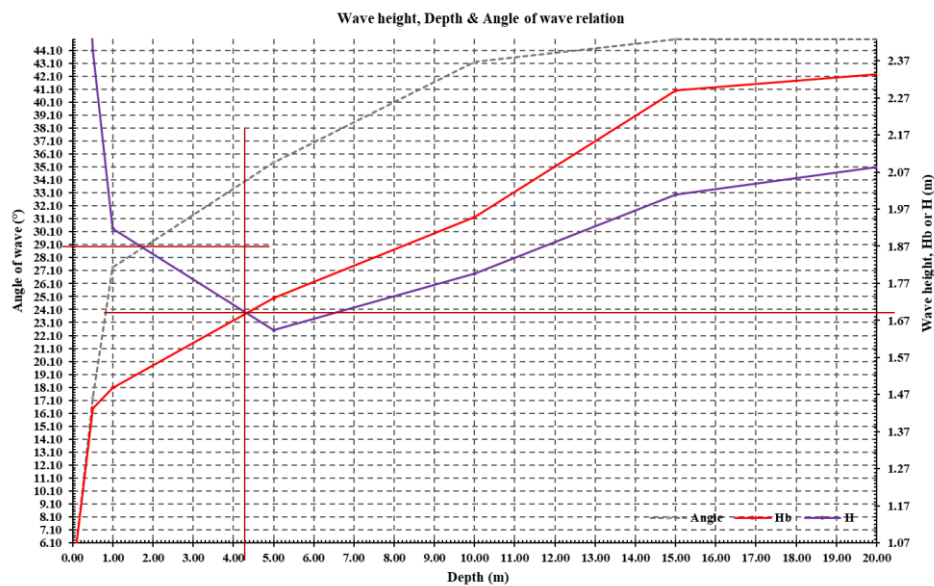
3.6. Analisis Gelombang Pecah

Analisa perhitungan tinggi gelombang pecah tidak dilakukan dengan menggunakan grafik penentuan tinggi gelombang pecah, melainkan tinggi gelombang pecah diperoleh dengan menggunakan beberapa persamaan, Hal ini dilakukan karena nilai m (m) yang digunakan merupakan nilai kemiringan pada kondisi yang sebenarnya. Pada tabel 5. Merupakan hasil analisis gelombang pecah.

Tabel 5. Perhitungan Gelombang Pecah

No	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	H'_0 (m)	H_b/H'_0	H_b (m)	m	e^{-19m}	a	$e^{-19,5m}$	b	d_b/H_b	d_b (m)
1	2,34	7,74	93,47	2,34	1,0352	2,43	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,074	90,18
2	2,34	7,74	93,46	2,34	1,0352	2,43	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,074	70,18
3	2,34	7,74	93,44	2,34	1,0355	2,42	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,074	60,18
4	2,34	7,74	93,38	2,34	1,0361	2,42	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,074	30,18
5	2,23	7,68	89,14	2,20	1,0408	2,29	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,080	15,18
6	2,01	7,46	73,53	1,90	1,0248	1,95	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,101	10,20
7	1,80	7,13	62,91	1,72	1,0059	1,73	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,126	5,22
8	1,64	6,83	47,18	1,59	0,9391	1,49	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,164	1,24
9	1,92	7,33	29,94	1,88	0,7624	1,43	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,146	0,71
10	2,40	7,76	7,69	2,39	0,4472	1,07	0,00118	0,9778294	0,97	0,9772527	0,79	0,179	0,29

Berdasarkan pada tabel perhitungan Gelombang pecah, maka dibuatkan grafik hubungan antara tinggi gelombang, kedalaman dan sudut datang gelombang yang ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Tinggi Gelombang, Kedalaman, dan Sudut Datang Gelombang

nilai tinggi gelombang pecah yang terjadi sebesar 1,69 meter nilai ini didapatkan dari penggambaran garis lurus secara horisontal pada titik pertemuan antara garis tinggi gelombang (H) dan garis tinggi gelombang pecah (Hb) yang ditarik dari titik pertemuan sampai pada angka yang menunjukkan tinggi gelombang pecah atau tinggi gelombang. gelombang pecah terjadi pada kedalaman 4,30 meter nilai ini didapatkan dari penggambaran garis lurus secara vertikal pada titik pertemuan antara garis tinggi gelombang (H) dan garis tinggi gelombang pecah (Hb) yang ditarik dari titik pertemuan sampai pada angka yang menunjukkan kedalaman. Gelombang akan pecah pada saat sudut datangnya mencapai $28,90^\circ$ nilai ini didapatkan dari penggambaran garis lurus secara horisontal pada titik pertemuan antara garis tinggi gelombang (H) dan garis sudut ($^\circ$) yang ditarik dari titik pertemuan sampai pada angka yang menunjukkan nilai besaran sudut. Pada tabel 4.13 kolom 7 baris terakhir menampilkan nilai tinggi gelombang yang sampai pada bibir pantai senilai 1,07 meter, maka dalam permalangan pembangkitan gelombang jangka panjang hingga pada 25 tahun yang akan datang menunjukkan bahwa karakteristik gelombang yang terjadi bersifat destruktif yang berpotensi mengakibatkan abrasi pada pesisir pantai

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada Pantai Jambore Pulau Tarakan, dapat disimpulkan nilai tinggi gelombang maksimum yang terbangkitkan berdasarkan data angin ECMWF adalah 2,098 meter dengan periode 7,626 detik yang terjadi di tahun 2016. Nilai tinggi gelombang maksimum yang diprediksi akan terjadi pada 25 tahun yang akan datang berdasarkan metode Weibull adalah 2,344 meter dengan periode 7,740 detik. Berdasarkan hasil analisis transformasi tinggi gelombang didetaapatkan nilai koefisien refraksi yang semakin kecil diikuti dengan kedalaman atau kondisi topografi pantai yang landai kearah laut. Sehingga, didapatkan nilai tinggi gelombang pecah pada 25 tahun yang akan datang adalah 1,69 meter dan terjadi pada kedalaman 4,30 meter dengan sudut datang gelombang $28,90^\circ$

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Borneo Tarakan, serta pada Bapak/Ibu dosen dan seluruh staf atas dukungannya kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Al Tanto, T., Nurjaya, I. W., Bengen, D. G., Hartanto, T., & Pranowo, W. S. (2021). PERAMALAN GELOMBANG LAUT DANGKAL DAN HUBUNGANNYA DENGAN SEBARAN LIFEFORM KARANG DI PERAIRAN KOTA PADANG. *JURNAL KELAUTAN NASIONAL*, 16(1), 33–44.
- Alamratri, A., & Sarwono, B. (2017). Aplikasi Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh Satelit untuk Evaluasi Pemanfaatan Ruang Budidaya Rumput Laut di Pantai Amal, Kota Tarakan, Kalimantan Utara. *JURNAL TEKNIK ITS*, Vol. 6(No. 2).
- Bakri, M. D. (2016). *Transportasi Multimoda*. Intimedia.
- Bakri, M. D., & Prihartanto, E. (2020). Analysis of the influence of ring road infrastructure development on economic growth in the coastal area of Tarakan City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012089>
- Bakri, M. D., Utomo, E., & Nawir, D. (2023). Linear Regression Analysis on predicting the level of damage and changes in Amal Baru Beach Tarakan City Indonesia. *Sinergi (Indonesia)*, 27(1), 133–144. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2023.1.015>
- Bembuain, W. D. T., & Samaila, M. A. (2022). PENGGUNAAN DATA HISTORIS KLIMATOLOGI DALAM PERAMALAN GELOMBANG LAUT DI PERAIRAN SORONG PROVINSI PAPUA BARAT. *Jurnal Karkasa*, 8(2).
- Binilang, A. (2014). ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DI PANTAI KECAMATAN BELANG KABUPATEN MINAHASA TENGGARA. *TEKNO SIPIL*, 12(60).
- Fauzi, A. N., & Muliati, Y. (2021). Peramalan Gelombang Dengan Metode SPM dan Darbyshire yang Divalidasi Dengan Data Altimetri di Pantai Monse, Pulau Wowonii Sulawesi Tenggara. Dalam *FTSP Series*.
- JDIH Kementerian PUPR. (2015). *PERATURAN MENTERI PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT REPUBLIK INDONESIA*.
- Kahtijah, S., Utomo, E., & Hermansyah, M. (2022). KAJIAN KARAKTERISTIK GELOMBANG PECAH DI PANTAI AMAL BARU KOTA TARAKAN. *Civil Engineering Scientific Journal*, 1(1), 75–84.
- Mokodongan, M. A., Jasin, M. I., & Thambas, A. H. (2021). ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG DI PANTAI BAHOI KECAMATAN LIKUPANG BARAT. *Jurnal Sipil Statik*, 9(4), 699–708.
- Nugraha Ma'sum, D., & Muliati, Y. (2021). *ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG MENGGUNAKAN METODE SPM DAN DATA ALTIMETRI PERAIRAN LUWUK SULAWESI TENGAH*.
- Putra, I. K. S. W., Yujana, C. A., & Surayasa, N. (2017). PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN PANTAI (REVTMENT) DENGAN BAHAN GEOBAG DI PANTAI MASCETI, KABUPATEN GIANYAR. *PADUKARSA*, 6(2).
- Setiyawan, Rusdin, A., & Adnyani, N. (2015). ANALISIS PERAMALAN KETINGGIAN GELOMBANG LAUT DENGAN PERIODE ULANG MENGGUNAKAN METODE

DISTRIBUSI WEIBULL (STUDI KASUS PANTAI LEMBASADA KABUPATEN DONGGALA). *INFRASTRUKTUR*, 5(1), 38–50.

Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai*. Beta Offset.

Utomo, E., & Asta. (2023). STUDI PERUBAHAN TINGGI GELOMBANG LAUT UNTUK RENCANA PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR PELABUHAN DI PANTAI BARAT PULAU TARAKAN KALIMANTAN UTARA. *Civil Engineering Scientific Journal*, 2(3).

Widhianto, S. L., Kharisma, D., Suharyanto, & Hardiyati, S. (2014). KAJIAN STRUKTUR PENGAMAN PANTAI SIGANDU, BATANG. *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, 3(4), 1207–1221. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>

Yasin, H. (2017). *PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT PENGARUH PENGGUNAAN GEOBAG DENGAN APLIKASI CEDAS*. Universitas Hasanudin.