

Studi Desain Bangunan Pelindung Pantai Tipe Groin Sebagai Upaya Penanganan Abrasi di Pantai Amal Baru Pulau Tarakan

Edy Utomo*¹, Muhammad Djaya Bakri²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan
e-mail: *edyutomo99@gmail.com, jayabakri@gmail.com

Abstract

Amal Baru beach is one of the beaches affected by the erosion phenomenon on Tarakan Island. The phenomenon of abrasion that occurs on this beach is 72% and accretion is 28%, with conditions that change the coastline due to abrasion of 2.59 m/year. The main trigger for the abrasion phenomenon on this beach is the characteristics of the destructive waves that occur on the shoreline. One of the solutions for erosion control is to construct coastal protection structures, such as Groin. In this study, was conducted to deal with abrasion problems on the beach by providing alternative Groin structural designs. All data used in this study is secondary data and is representative as data for the design of the Groin structure, which is planned for the next 50 years. The results of the studies conducted provide an alternative number of Groin structures of 5 units with a length of 95 meters and a distance between Groin of 100 meters. The recommended structure is a sloping side building with the main armor layer being tetrapod, with a grain weight of 0.50 tons for the arm structure and 1.00 tons for the structure at the head end of the Groin.

Keywords: *Abrasion, Building, Gorin, Costal, Protection*

Abstrak

Pantai Amal Baru merupakan salah satu pantai yang terkena dampak fenomena erosi di Pulau Tarakan. Fenomena abrasi yang terjadi di pantai ini sebesar 72% dan akresi sebesar 28%, dengan kondisi perubahan garis pantai akibat abrasi sebesar 2,59 m/tahun. Pemicu utama terjadinya fenomena abrasi di pantai ini adalah karakteristik gelombang destruktif yang terjadi di bibir pantai. Salah satu solusi pengendalian erosi adalah dengan membangun bangunan pelindung pantai seperti Groin. Pada penelitian ini dilakukan kajian untuk mengatasi permasalahan abrasi pada pantai dengan memberikan alternatif desain struktur Groin. Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dan bersifat representatif sebagai data untuk perancangan struktur Groin yang direncanakan untuk 50 tahun ke depan. Hasil penelitian yang dilakukan memberikan alternatif jumlah struktur Groin sebanyak 5 unit dengan panjang 95 meter dan jarak antar Groin 100 meter. Struktur yang direkomendasikan adalah bangunan sisi miring dengan lapisan pelindung utama berupa tetrapod, dengan berat butir 0,50 ton untuk struktur lengan dan 1,00 ton untuk struktur ujung kepala Groin.

Kata kunci: *Abrasi, Bangunan, Groin, Pantai, Perlindungan*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Salah satu daerah pulau dataran rendah di Provinsi Kalimantan Utara adalah Pulau Tarakan, yang saat ini memiliki status sebagai Kota Administratif dengan letak geografis 3°,14'30" - 3°,26'37" Lintang Utara dan 117°,30'50" - 117°40'12" Bujur Timur. Daerah Pulau Tarakan ini terbagi menjadi

Saat ini wilayah Pantai Amal dijadikan tempat bermukim masyarakat, tercatat pada tahun 2021 jumlah penduduk yang bermukim adalah sebanyak 9.342 jiwa dengan kepadatan penduduk sebesar 769 jiwa/km², yang diperkirakan kondisi ini akan terus meningkat dengan nilai peningkatan rerata sebesar 736,02 jiwa/tahun (Bakri dkk., 2023). Hal ini dipengaruhi oleh kegiatan sosial-ekonomi masyarakat, yaitu terkait dengan pengembangan budidaya rumput laut yang semakin meningkat.

Pemanfaatan daerah pesisir pantai sebagai kawasan budidaya rumput laut memberikan dampak perubahan garis pantai vegetasi indikatif, karena morfologi kawasan pantai mengalami perubahan. Salah satu bentuk perubahannya adalah terjadinya fenomena abrasi dan akresi. Abrasi merupakan proses erosi yang diikuti oleh runtuhnya material masif seperti tebing pantai. Hal ini disebabkan oleh daya tahan material menurun karena pelapukan dan ketahanan tersebut dilampaui oleh adanya tekanan dari kekuatan arus serta gelombang (Muliati, 2020). Sedangkan akresi merupakan proses pengendapan material yang terbawa oleh air dan angin. Akresi di pantai sebagian besar dipengaruhi oleh transportasi sedimen pada muara sungai (Triatmodjo, 2016). Berdasarkan penelitian sebelumnya, dilaporkan bahwa Pantai Amal Baru telah mengalami 72% fenomena abrasi dan 28% fenomena akresi, dengan kondisi perubahan garis pantai akibat abrasi adalah 2,59 meter/tahun, yang menyebabkan pantai ini mengalami tingkat kerusakan berat (Bakri dkk., 2023). Hasil penelitian tersebut ditindaklanjuti pada penelitian selanjutnya dengan memperluas cakupan penelitian ke arah Utara Pulau Tarakan, dengan menerapkan metode DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), ditemukan bahwa pada kurun waktu 32 tahun perubahan garis pantai terjadi sejauh 2,16 meter/tahun, dan diprediksikan pada tahun 2033 laju perubahan garis pantai ke sisi daratan akan semakin bertambah 0,74 meter/tahun. Hal ini akan terjadi pada pantai dengan jenis sedimen pasir (Utomo & Djaya Bakri, 2023).

Salah satu pemicu dari kejadian fenomena abrasi ini adalah perubahan pada karakteristik gelombang yang terjadi di wilayah Pantai Amal Baru. Pada kondisi kecepatan angin maksimum, tinggi gelombang sampai ke daerah pantai mampu mencapai 2,10 meter (Kahtijah dkk., 2022). Pada tinggi gelombang tersebut menjadikan gelombang pada pesisir Pantai Amal Baru menjadi gelombang bersifat destruktif, dimana gelombang ini berpotensi menyebabkan gerusan pada pantai dengan ketinggian lebih dari 1,00 meter (Triatmodjo, 2016). Pada wilayah Pulau Tarakan sendiri, tinggi gelombang yang terjadi berbeda-beda bergantung pada kecepatan tiupan angin dan jarak rambatan angin dari titik pembangkitan angin sampai ke daerah pesisir pantai. Seperti tinggi gelombang yang terjadi pada beberapa infrastruktur pelabuhan di sisi Barat Pulau Tarakan, dimana ketinggian gelombang rerata yang terjadi adalah 0,34 meter, sehingga tidak bersifat destruktif serta aman dipergunakan untuk wilayah bongkar muat kapal (Utomo & Asta, 2023).

Kejadian abrasi di Pantai Amal Baru ini perlu untuk segera ditangani, karena akan berdampak buruk pada kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat di daerah tersebut. Terdata kurang lebih 2,81 Ha permukiman penduduk akan terdampak fenomena abrasi tersebut (Bakri dkk., 2023), serta terdapat infrastruktur jalan utama yang menghubungkan lingkaran Pulau Tarakan yang juga akan terdampak kerusakan (Bakri & Prihartanto, 2020). Jika kejadian abrasi ini tidak segera ditangani maka dapat menyebabkan dampak yang buruk, seperti yang terjadi di Vietnam, dimana dampak abrasi mengakibatkan banyak bangunan hotel dirubuhkan, dan kegiatan kaluar masuk kapal, jasa pariwisata, eksploitasi hasil laut mengalami kemunduran (Cham dkk., 2020). Salah satu solusi yang diberikan pada penelitian sebelumnya adalah melindungi pantai dengan konstruksi bangunan pelindung pantai, yaitu Groin dan *Breakwater* lepas pantai. Pemilihan tipe pelindung pantai ini adalah untuk dapat mencapai harapan terbentuknya garis pantai baru yang dapat dimanfaatkan kembali oleh masyarakat untuk kawasan budidaya rumput laut (Bakri dkk., 2023). Terlebih lagi wilayah Pantai Amal Baru ini yang bukan merupakan kawasan vegetasi Mangrove, sehingga sangatlah rentan akan terdampak oleh fenomena abrasi. Perlu untuk diketahui, bahwa vegetasi Mangrove mampu untuk mereduksi tinggi dan energi gelombang, sehingga mampu mengurangi dampak abrasi yang terjadi (Kamil dkk., 2021). Oleh sebab itu, pada penelitian ini berfokus untuk memberikan kajian alternatif terkait desain konstruksi bangunan pelindung pantai tipe Groin untuk penanganan abrasi di Pantai Amal Baru Pulau Tarakan.

Groin merupakan bangunan pelindung pantai yang dibuat tegak lurus garis pantai, dan berfungsi menahan transpor sedimen di sepanjang pantai, sehingga dapat menghentikan erosi. Fungsi lain Groin adalah menahan sedimen yang tersangkut disepanjang pantai, sehingga sedimen tidak berpindah ke tempat lain dan akhirnya akan terbentuk pantai baru (Triatmodjo, 2014). Groin sendiri dapat dibuat pada beberapa tipe bentuk, seperti tipe I, tipe T, dan tipe L (Sangari dkk., 2019). Pada perencanaan bangunan pantai tipe Groin, diperlukan beberapa kondisi sebagai data utama dan pendukung dalam desain, seperti kondisi angin, gelombang, pasang surut, topografi dan bathimetri (Triatmodjo, 2014). Pada perkembangan teknologi dan informasi saat ini, kebutuhan informasi terkait kondisi-kondisi tersebut dapat ditemukan tanpa harus melakukan pengukuran langsung di lokasi penelitian. Oleh sebab itu, pada penelitian ini sumber data yang digunakan merupakan perpaduan antara data primer dan sekunder dari beberapa sumber yang umum digunakan.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan informatif yaitu : 1) Memberikan informasi alternatif pemilihan bentuk konstruksi bangunan pelindung pantai yang dapat digunakan untuk penanganan abrasi di Pantai Amal Baru Pulau Tarakan, 2) Informasi bagaimana bentuk serta ukuran dimensional bangunan pantai yang digunakan berdasarkan pendekatan variabel kemiringan pantai, tinggi gelombang, dan fluktuasi air laut yang terjadi, 3) Informasi terkait ukuran batu pelindung buatan yang digunakan di sepanjang struktur bangunan pelindung pantai berdasarkan estimasi berat lapis pelindung yang sesuai dengan variabel beban tinggi gelombang yang terjadi.

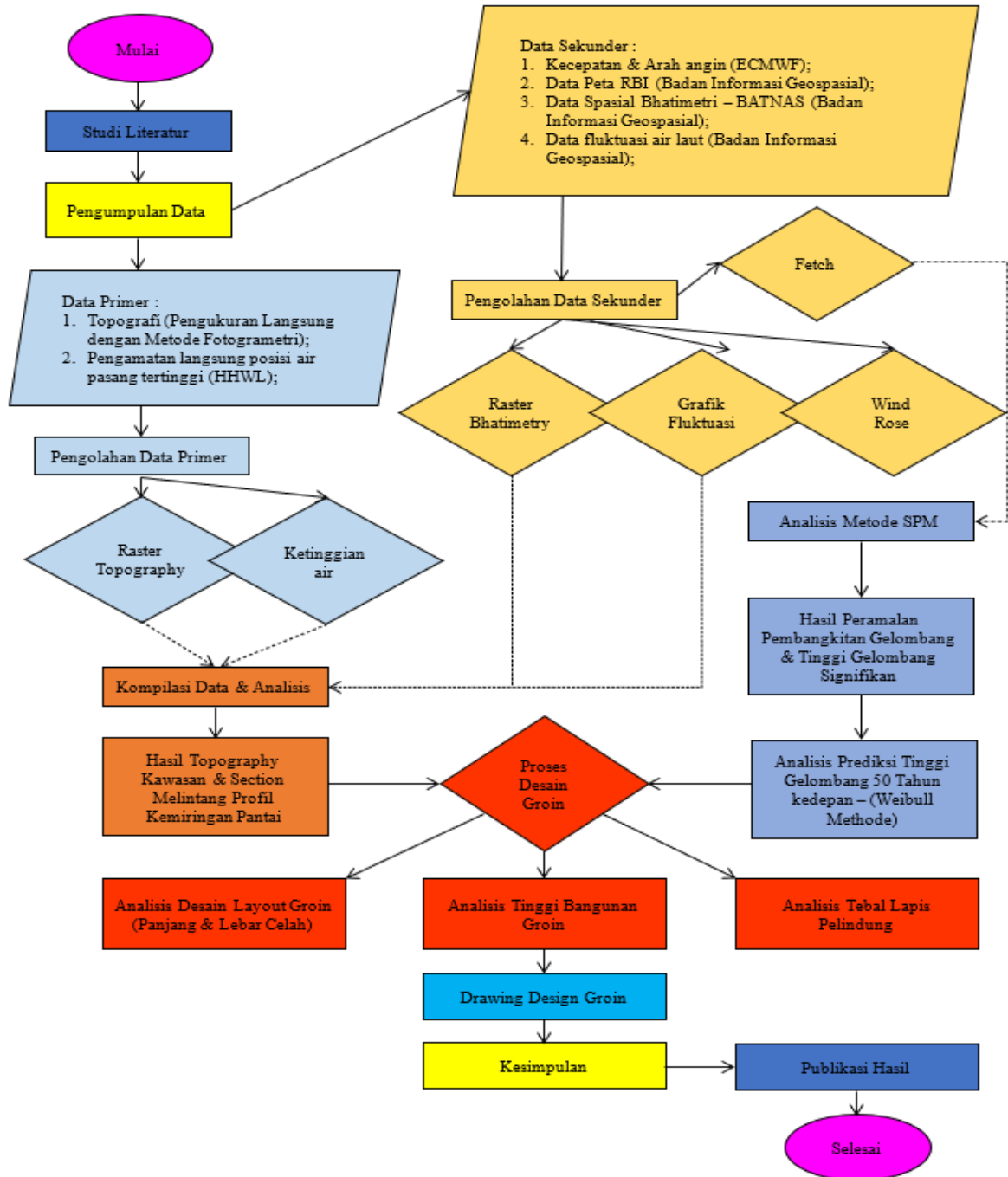
2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Pantai Amal Baru Pulau Tarakan Provinsi Kalimantan Utara, dengan panjang tinjauan penanganan Abrasi adalah 500 meter, yang dimulai dari titik koordinat awal E. 5732938,89 ; N. 365347,69 dan berakhir pada titik koordinat E. 573004,11 ; N. 365837,42.

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis data, yaitu Data Primer dan Data Sekunder. Beberapa data sekunder yang dipergunakan antara lain seperti Data sebaran arah dan kecepatan angin yang bersumber dari ECMWF, Data peta RBI yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial untuk dipergunakan dalam acuan analisis fetch, Data Batimetri Nasional yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial yang nantinya akan di kombinasikan dengan pembacaan elevasi dari UAV / Drone, dan terakhir adalah Data flutuasi air laut yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial yang kemudian di korelasikan dengan nilai elevasi yang di dapatkan dari UAV / Drone. Sedangkan data primer yang digunakan adalah nilai titik koordinat dan gambaran kondisi lokasi penelitian yang diambil menggunakan teknologi UAV dan diolah dengan menggunakan Metode Fotogrametri. Selain itu, juga dilakukan pengamatan posisi koordinat elevasi air tertinggi di lokasi penelitian yang selanjutnya di korelasikan dengan data-data yang lainnya.

Adanya kombinasi terhadap beberapa data tersebut menyebabkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai elevasi. Hal ini dikarenakan dasar pengambilan elevasi dasar (nilai elevasi 0,00 Meter) yang berbeda. Oleh sebab itu, dilakukan perubahan terhadap nilai elevasi untuk dapat menyelaraskan penggunaan seluruh data. Nilai elevasi 0,00 yang digunakan pada data fluktuasi air laut adalah posisi MSL (*Mean Sea Level*), namun karena posisi ini hampir tidak dapat terlihat secara langsung di lokasi penelitian, maka nilai elevasi dasar yang menjadi acuan adalah pada posisi HHWL. Selain itu, kondisi topografi pada bagian pantai yang diambil dengan menggunakan teknologi drone menyebabkan nilai acuan dasar elevasi untuk data Batimetri dan Pasang surut juga ikut mengalami perubahan menyesuaikan dengan ketinggian terbang dari Drone. Sebagai contoh, nilai elevasi HHWL pada data fluktuasi sebesar + 3,78 Meter dapat berubah menjadi + 80,20 Meter, hal ini dikarenakan ketinggian terbang Drone di kunci pada ketinggian + 80,00 Meter dari posisi titik Bench Mark. Oleh sebab itu, sistem koordinat elevasi yang digunakan dalam penelitian ini tidak dapat mengacu pada elevasi global, melainkan menggunakan elevasi lokal yang ditentukan sendiri oleh peneliti.

Metode penelitian dilakukan secara sistematis seperti yang ditunjukkan pada bagan alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram metode penelitian

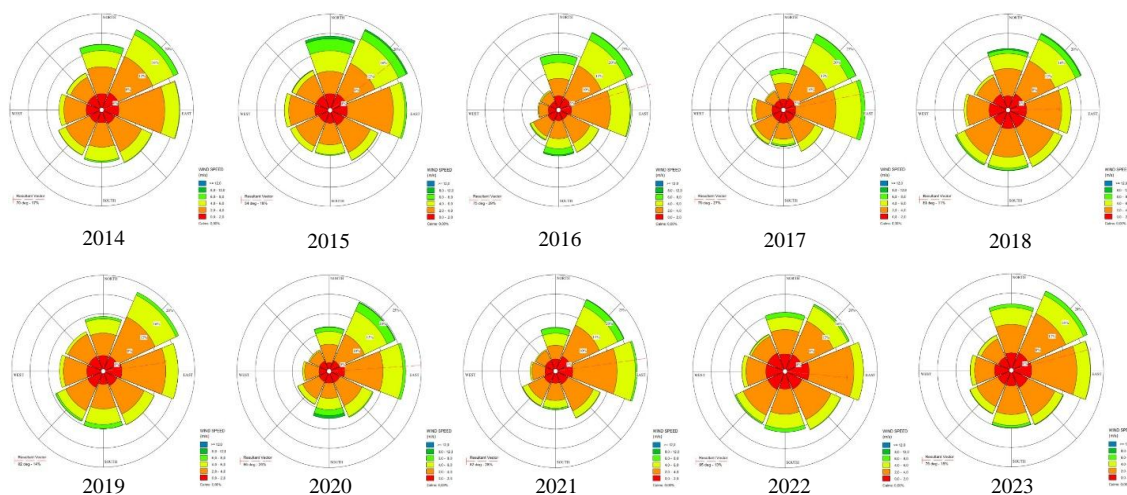
Pada Gambar 1 di atas menunjukkan proses metode penelitian yang diterapkan. Proses diawali dari studi literatur, survey lokasi yang merupakan bagian data primer, dilanjutkan dengan pengolahan data-data sekunder, melakukan kompilasi seluruh hasil analisis terhadap data, dilanjutkan dengan proses desain Groin, yang terbagi menjadi 3 bagian, yaitu Analisis desain layout Groin, Analisis tinggi bangunan Groin, dan Analisis tebal lapis pelindung yang digunakan. Ketiga bagian tersebut akan disatukan dalam bentuk gambar detail struktur bangunan pelindung pantai tipe Groin. Namun, dalam penelitian ini belum melakukan tinjauan terhadap variabel sedimentasi di sepanjang pantai. Hal ini dapat menjadi penelitian tersendiri, mengingat permasalahan yang begitu kompleks.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengolahan Data Angin ECMWF

Secara umum gelombang dapat terbangkitkan oleh adanya tiupan angin pada permukaan laut (Triatmodjo, 2016). Saat angin bertiup di atas permukaan air, akan terjadi gesekan antara air dan angin, sehingga akan menimbulkan gelombang (Muliati, 2020). Gelombang laut yang banyak dijumpai merupakan hasil pembangkitan dari pergerakan angin, oleh sebab itu disebut dengan gelombang angin (Djatkiko, 2012). Data angin yang diperoleh langsung di lokasi pantai yang merupakan daerah daratan perlu untuk dikonversikan menjadi angin laut (Triatmodjo, 2003). Namun pada beberapa penelitian terkait pembangkitan gelombang saat ini telah populer menggunakan data sekunder yang berasal dari satelit. Salah satunya adalah data yang bersumber dari ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) (Purwono & Sismiani, 2018). Data ECMWF merupakan reanalisis dari interpolasi data meteorologi yang diperoleh dari berbagai sumber dan diberikan dalam format NetCDF. Sumber data ini dapat diakses melalui laman <https://cds.climate.copernicus.eu/> (cds, 2023). Karena format yang diberikan adalah NetCDF, maka perlu untuk dilakukan tahapan pra-analisis sebelum data ini siap untuk digunakan (Zulfikar dkk., 2018). Data angin yang diunduh akan menampilkan kecepatan angin pada dua arah yaitu U_{10} dan V_{10} , sehingga perlu diubah ke dalam kecepatan angin pada arah resultan (Syafik dkk., 2013). Pada penelitian ini rentang pengambilan data angin adalah 10 tahun terakhir dimulai pada tahun 2014 sampai dengan 2023, hal ini dilakukan karena belum tersedianya dengan lengkap data pada tahun 2024.

Pada pengolahan data angin juga mempertimbangkan efek dari adanya pemanasan global. Pemanasan global adalah fenomena peningkatan suhu secara global yang terjadi setiap tahun, kondisi ini dapat memberikan peningkatan suhu di lautan (Illona dkk., 2018). Peningkatan suhu di lautan akan berdampak pada aspek kelautan yang dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Oleh sebab itu, pengaruhnya akan dirasakan dalam rentang waktu yang cukup lama (Syahailatua, 2008). Perubahan iklim akibat pemanasan global ini akan mempengaruhi kecepatan angin global (Mori dkk., 2010), hal ini akan berpengaruh pada perubahan tinggi gelombang disetiap tahunnya, karena pembangkitan gelombang laut oleh angin adalah bentuk perpindahan energi dari angin ke air melalui permukaan air laut (Holthuijsen, 2007). Jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 105.168 data, yang seluruhnya dimodelkan dalam bentuk mawar angin untuk dapat diketahui besar dan arah kecepatan angin yang dominan terjadi pada kurun waktu 10 tahun terakhir. Adapun bentuk pemodelan mawar angin ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Model mawar angin

Pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa dalam 10 tahun terakhir tiupan angin dominan terjadi dari arah Timur ke arah Barat Pulau Tarakan, dengan informasi besaran dan rentang nilai kecepatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi frekuensi kecepatan dan arah angin

Hembusan angin dari arah	Klasifikasi kecepatan angin (m/s)						Total (%)
	0,0 – 2,0	2,0 - 4,0	4,0 – 6,0	6,0 – 8,0	8,0 - 12,0	≥ 12,0	
North (N) / Utara	3,22	4,87	3,28	1,24	0,12	0,00	12,72
Northeast (NE) / Timur Laut	3,66	8,34	5,39	1,44	0,12	0,00	18,95
East (E) / Timur	4,09	10,08	3,78	0,31	0,00	0,00	18,25
Southeast (SE) / Tenggara	3,47	6,63	2,26	0,11	0,00	0,00	12,47
South (S) / Selatan	3,11	4,91	2,46	0,69	0,12	0,00	11,29
Southwest (SW) / Barat Daya	3,28	5,37	1,51	0,17	0,01	0,00	10,34
West (W) / Barat	3,38	4,36	0,76	0,01	0,00	0,00	8,50
Northwest (NW) / Barat Laut	3,21	3,66	0,56	0,03	0,00	0,00	7,46
Sub-Total	27,41	48,20	20,00	4,01	0,38	0,00	99,99
Calms							0,00
Missing/Incomplete							0,01
Total							100,00

Berdasarkan sebaran data yang ditunjukkan pada Tabel 1, menunjukkan bahwa dominasi hembusan angin dominan terjadi dari arah Timur Laut ke Barat Daya dengan persentase 18,95%.

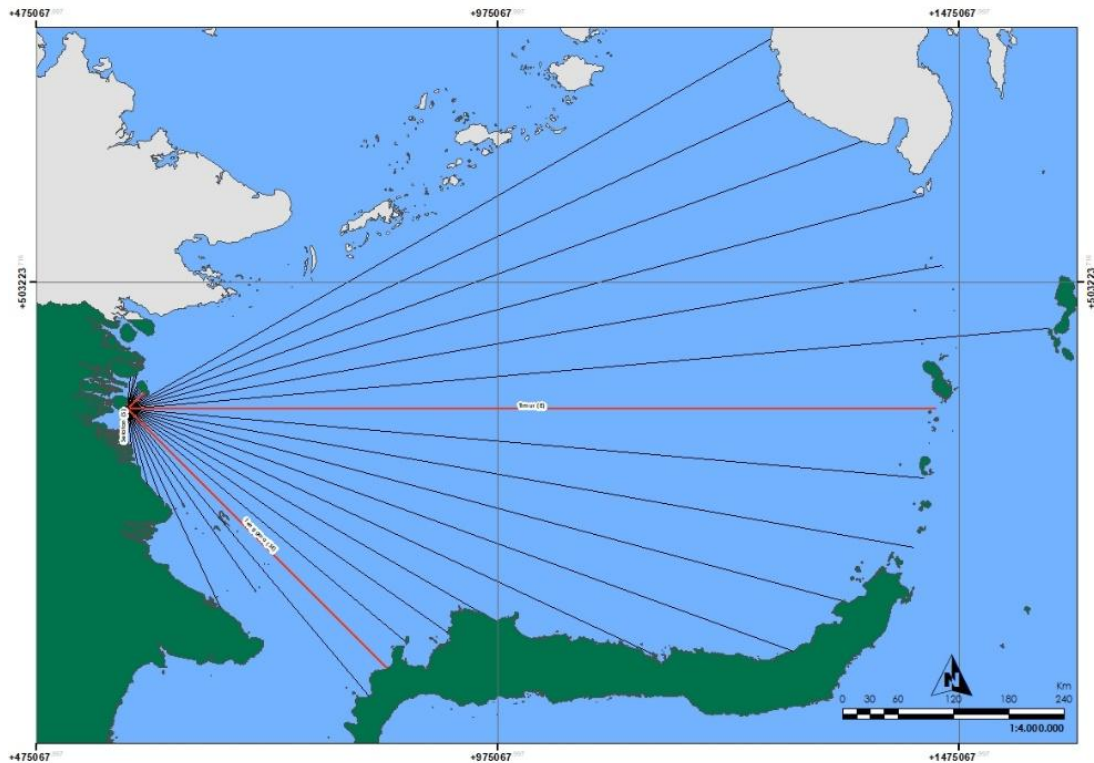
3.2. Hasil Analisis Fetch Efektif

Pemodelan fetch yang merupakan jarak seret angin, yang diperkirakan dari jarak laut bebas antara lokasi yang ditinjau terhadap pulau atau daratan yang mengelilinginya. Selain itu, fetch merupakan daerah dengan kecepatan angin konstan, sedangkan jarak fetch merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin bertiup (Mulyabakti dkk., 2016). Pada penelitian sebelumnya terdapat pembatasan panjang fetch, dimana panjang fetch hanya dibatasi pada jarak 200 km (Suhana dkk., 2018). Namun, terdapat pula pembatasan panjang fetch yaitu sejauh 1.000 km (Fauzi & Muliati, 2021). Pada penelitian ini menggunakan pembatasan panjang fetch sejauh 1.000 km.

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), dengan tahapan menentukan titik posisi bangunan pantai, menarik garis lurus dari titik awal ke delapan arah mata angin utama sampai membentuk sudut 5° pada setiap garis, hingga meyentuh daratan dan dilanjutkan dengan mengukur panjang setiap garis fetch yang ditentukan (Suhana dkk., 2018). Peta RBI yang digunakan dapat diakses melalui laman Badan Informasi Geospasial dengan sistem koordinat WGS 1984 (Badan Informasi Geospasial, 2021). Agar dapat mudah untuk melakukan pengukuran garis fetch pada peta RBI, maka peta RBI diberikan sistem proyeksi koordinat, yaitu dengan menggunakan sistem koordinat UTM (*Universal Transvers Mecrator*) Zona 50 N. Setiap garis fetch yang terbentuk diukur dan didata, yang selanjutnya dihitung nilai panjang fetch efektifnya. Adapun hasil pemodelan fetch ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa, garis-garis fetch yang panjang berada pada sisi Timur Pulau Tarakan. Pada arah Timur Laut, hasil penarikan fetch mencapai kepulauan Filipina, sedangkan hasil penarikan garis fetch ke arah Timur terditeksi dapat mencapai kepulauan di sisi Pulau Sulawesi, dan hasil penarikan garis fetch ke arah Tenggara mencapai sisi Utara Provinsi Sulawesi Tengah.

Sedangkan pada beberapa bagian arah yang menuju sisi Barat Pulau Tarakan, garis fetch dapat mencapai pulau-pulau luar di sisi Utara Provinsi Kalimantan Utara, dan beberapa fetch pada arah Selatan menuju beberapa Pulau terluar yang masuk dalam daerah administratif Provinsi Kalimantan Timur. Adapun hasil analisis panjang fetch efektif untuk setiap arah ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 3. Peta pemodelan fetch untuk Pantai Amal Baru

Tabel 2. Nilai fetch efektif untuk setiap arah penjalaran angin

Arah fetch	Panjang fetch efektif	
	(Km)	(m)
North (N) / Utara	17,64	17.640,96
Northeast (NE) / Timur Laut	193,13	193.134,36
East (E) / Timur	869,51	869.511,88
Southeast (SE) / Tenggara	364,74	364.739,05
South (S) / Selatan	42,06	42.064,27
Southwest (SW) / Barat Daya	1,77	1.773,50
West (W) / Barat	1,00	1.001,92
Northwest (NW) Barat Laut	1,43	1.426,06

3.3. Hasil Analisis Pasang Surut

Data fluktuasi air laut yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diakses melalui laman http://118.97.27.100/imro-ofs/index.php#show_form (Balai Riset dan Observasi Laut, 2023), dengan letak stasiun adalah selat lingkas Pulau Tarakan. Perhitungan sumber data diperoleh dengan menggunakan konstanta harmonik, output data yang diambil merupakan bentuk tabel data fluktuasi air laut yang harus diolah kembali untuk mendapatkan nilai konstanta harmonik,

sehingga akan dapat diketahui ragam elevasi permukaan air laut dan tipe pasang surut yang terjadi (Agung & Novianto, 2020). Adapun hasil pengolahan data pasang surut ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil pengolahan data pasang surut

Kompoenen Hasil	Nilai
M.S.L	180,10 cm
H.H.W.L	378,96 cm
L.L.W.L	34,57 cm
M.H.W.L	344,80 cm
M.L.W.L	68,73 cm
Bilangan Formzahl	0,25

Berdasarkan pengolahan data pasang surut didapatkan beberapa data terkait karakteristik pasang surut di daerah Pulau Tarakan. Elevasi muka air laut rerata (MSL) berada pada elevasi 180,10 cm, dengan muka air pasang tertinggi berada pada elevasi 378,96 cm. Bilangan Fromzhal yang dihasilkan adalah 0,25 yang menunjukkan bahwa tinggi dan periode pasang surut yang berbeda. Hal ini menunjukkan kondisi pasang surut yang terjadi masuk dalam tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda (*Mixed tide prevailing semidiurnal*) (Fadilah dkk., 2014). Hasil pengolahan data pasang surut ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang juga menyatakan bahwa perairan Pulau Tarakan mengalami tipe pasang surut *mixed semi-diurnal* (Marlina, 2017).

3.4. Hasil Pengolahan Data Batimetri dan Topografi

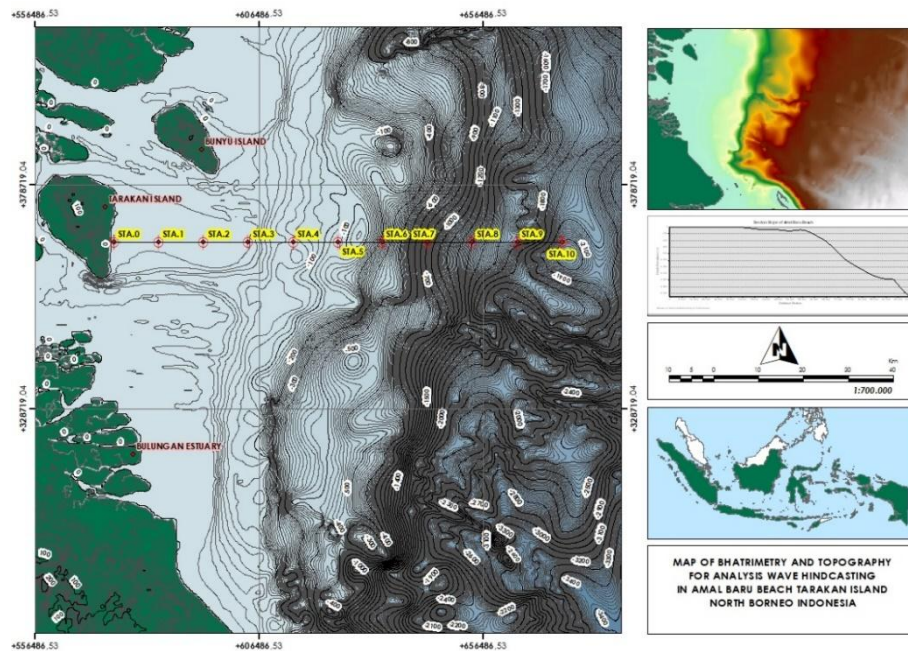
Pada penelitian ini hasil model batimetri digabungkan dengan model topografi di daerah pantai. Batimetri merupakan Gambaran kondisi permukaan bumi di bawah permukaan air laut yang memberikan informasi dalam bentuk Gambaran kontur kedalaman laut di sepanjang pantai (Triatmodjo, 2014). Sedangkan topografi merupakan informasi terkait tinggi permukaan tanah pada suatu tempat terhadap permukaan laut maupun titik acuan elevasi yang digambarkan dengan representasi garis kontur. Garis kontur adalah suatu garis imajiner di permukaan bumi yang memiliki hubungan nilai ketinggian yang sama (Utomo dkk., 2022).

Kebutuhan data batimetri dan topografi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, yaitu DEM (*Digital Elevation Model*) dan BATNAS (Batimetri Nasional). DEM terdiri dari dua informasi, yaitu data ketinggian dan data posisi koordinat dari ketinggian tersebut di permukaan bumi (Hasim & Abdul Basyid, 2021). Pada beberapa kasus penelitian di Indonesia, yang membutuhkan informasi permukaan bumi, data ini dapat diakses melalui laman <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/> (Badan Informasi Geospasial, 2023), yang disebut dengan BATNAS dan DEMNAS, hal ini telah dikembangkan oleh Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia (Windupranata dkk., 2020).

Data ini tidak dapat langsung digunakan melainkan harus dilakukan proses ekstraksi hingga pengembangan untuk mendapatkan peta garis kontur yang representatif dan dapat digunakan dalam proses peramalan pembangkitan gelombang, transformasi gelombang, perancangan layout bangunan pantai, sampai dengan desain konstruksi bangunan pantai di lokasi penelitian. Proses ekstraksi dan pengembangan dilakukan dengan menerapkan metode SIG (Sistem Informasi Geografis). Adapun hasil pengolahan data Batimetri dan Topografi pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.

Model Batimetri yang ditunjukkan pada Gambar 4 memperlihatkan bahwa pada jarak ± 30 km dari garis pantai sisi Timur Pulau Tarakan, memiliki kondisi kemiringan pantai tergambar landai, dan semakin maju ke arah lautan terjadi peningkatan pada kedalaman, sehingga menghasilkan

peningkatan pada kemiringan pantai sampai pada titik pembangkitan gelombang. Pada penelitian ini, kedalaman dibagi menjadi beberapa segmen di sepanjang garis potongan melintang pantai, dari garis pantai sampai menuju ke arah laut dengan panjang 100 km. Adapun nilai kemiringan permukaan tanah yang didapatkan dari hasil pemodelan adalah 0,0045 dan 0,0003.



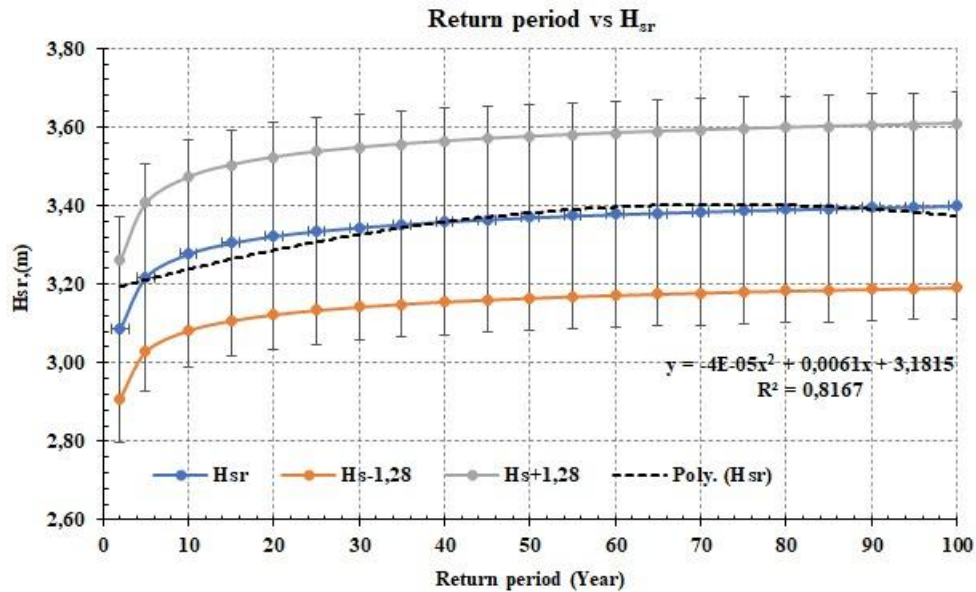
Gambar 4. Model batimetri dan topografi

3.5. Hasil Analisis Pembangkitan dan Peramalan Gelombang Jangka Panjang

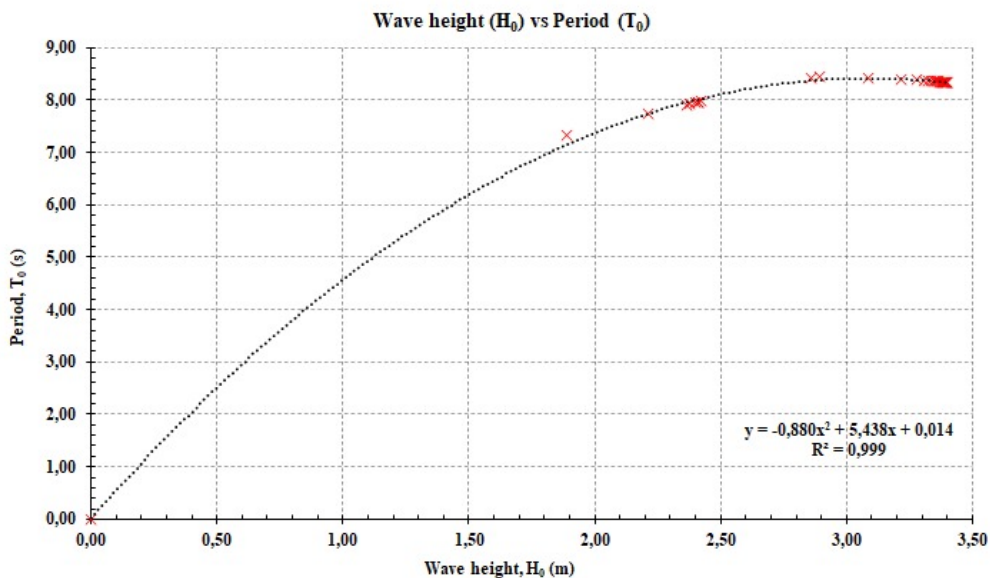
Analisis pembangkitan gelombang oleh angin yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis SPM (*Shore Protection Manual*), yang dikeluarkan oleh *US Army Corps of Engineer* (CERC, 1984). Selanjutnya analisis dilanjutkan dengan melakukan prediksi nilai tinggi gelombang jangka panjang dengan Metode Weibull, dengan kurun waktu prediksi adalah 50 dan 100 tahun (Sari dkk., 2020). Hasil peramalan pembangkitan gelombang yang dilakukan dengan Metode SPM menunjukkan bahwa dominasi gelombang maksimum selama 10 tahun terakhir dibangkitkan dari arah Timur Laut. Tinggi gelombang yang terjadi pada arah Timur Laut memiliki nilai $> 2,00$ meter, dengan tinggi gelombang tertinggi adalah 2,89 meter yang terjadi pada tahun 2018. Kondisi gelombang maksimum yang dibangkitkan pada arah Timur Laut tersebut seluruhnya masuk dalam kondisi *Non-Fully Developed Sea*, dengan parameter kejadian adalah *Duration Limited*, dimana pembangkitan gelombang dibatasi oleh lamanya durasi angin bertiup.

Dominasi arah kedua adalah gelombang yang terbangkitkan dari arah Timur dengan nilai tinggi gelombang antara 1,10 sampai dengan 2,38 meter. Gelombang maksimum yang terbangkitkan dari arah ini seluruhnya masuk dalam kondisi *Fully Developed Sea*, dimana durasi angin bertiup cukup lama, sehingga tidak terjadi lagi pertumbuhan gelombang baru. Begitu juga dengan pembangkitan gelombang dari arah Tenggara, dengan nilai gelombang maksimum antara 1,21 sampai dengan 2,80 meter. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk peramalan tinggi gelombang jangka panjang dalam penelitian ini menggunakan data pembangkitan gelombang maksimum dari arah paling dominan, yaitu arah Timur Laut.

Prediksi tinggi gelombang jangka panjang yang dilakukan dengan menerapkan Metode Weibull pada kala ulang 50 dan 100 tahun, menunjukkan bahwa akan terjadi peningkatan tinggi gelombang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Sedangkan hubungan kejadian tinggi gelombang dengan periode selama prediksi jangka panjang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Grafik prediksi tinggi gelombang jangka panjang



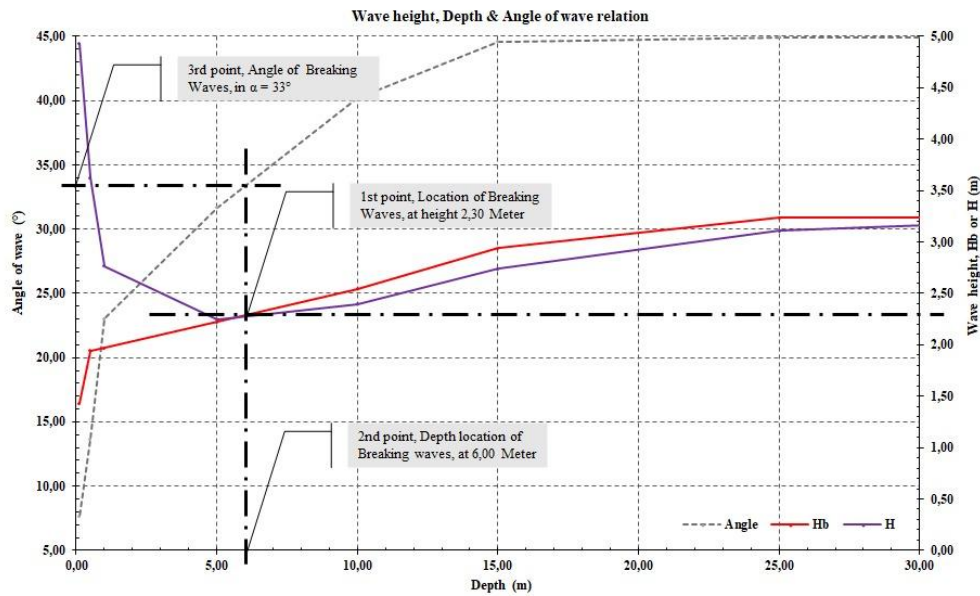
Gambar 6. Grafik hubungan tinggi gelombang dengan periode gelombang

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa dalam jangka waktu 50 tahun kedepan diperkirakan tinggi gelombang yang dibangkitkan akan mencapai nilai 3,37 meter dan pada 100 tahun yang akan datang, diperkirakan tinggi gelombang dapat mencapai ketinggian 3,39 meter, dengan tingkat kepercayaan prediksi sebesar 81,67%. Berdasarkan Gambar 6 yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang prediksi dengan periode, didapatkan informasi bahwa pada tinggi gelombang 3,37 meter yang terjadi pada kala ulang 50 tahun periode yang dihasilkan adalah 8,345 detik. Sedangkan pada tinggi gelombang 3,39 meter yang terjadi pada kala ulang 100 tahun, periode yang dihasilkan

adalah 8,329 detik. Selanjutnya data gelombang yang digunakan dalam proses transformasi gelombang menuju garis pantai adalah tinggi dan periode gelombang pada prediksi kala ulang 50 tahun.

3.6. Hasil Analisis Transformasi Gelombang

Hasil iterasi yang dilakukan untuk mengetahui transformasi gelombang sampai ke garis pantai ditunjukkan pada Gambar 7, yang merupakan langkah dalam menentukan posisi gelombang pecah.



Gambar 7. Grafik penentuan gelombang pecah

Berdasarkan Gambar 7, dapat terlihat bahwa tinggi gelombang akan berangsur berkurang seiring dengan berkurangnya kedalaman, sampai pada kedalaman tertentu tinggi gelombang kembali meningkat secara tidak teratur. Pada titik awal kenaikan tinggi gelombang terjadi perpotongan dengan kejadian gelombang pecah yang ditandai dengan terbentuknya gelombang pecah. Berdasarkan hal tersebut, maka diketahui gelombang pecah akan terjadi pada kedalaman 6,00 meter, pada sudut datang gelombang 33°, dengan ketinggian gelombang pecah adalah 2,30 meter. Adapun hasil akhir transformasi gelombang ditunjukkan pada Tabel 4.

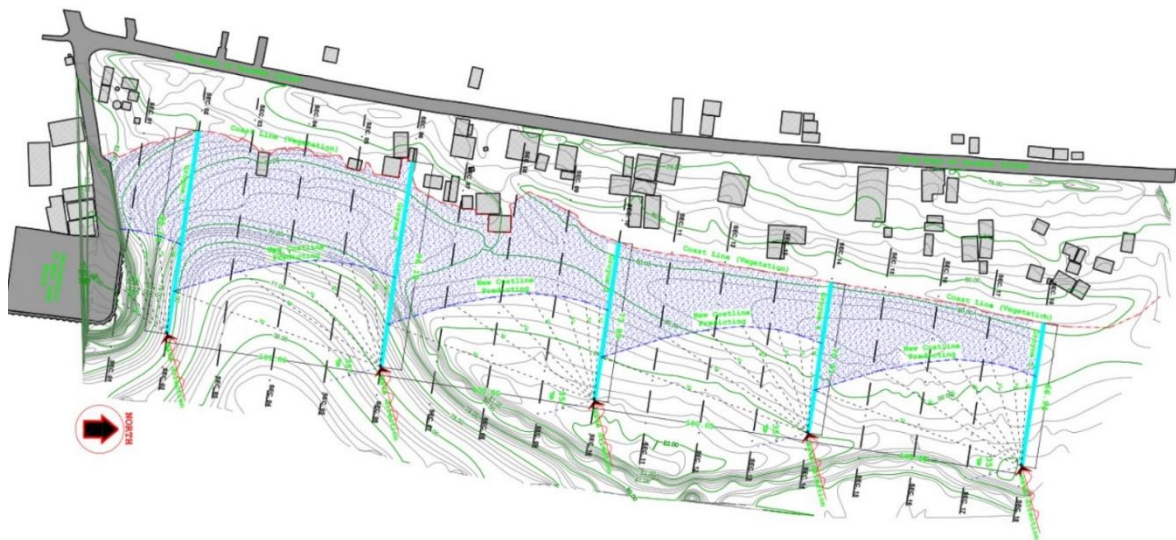
Tabel 4. Hasil transformasi gelombang

No	Sudut datang α (°)	d or d_b (m)	H_0 (m)	T (s)	L_0 (m)	H'_0 (m)	H_b (m)	m	Klasifikasi gelombang
1	45,00	100 or 100,04	3,37	8,34	108,63	3,37	3,25	0,0045	Laut Dalam
2	45,00	75 or 75,04	3,37	8,34	108,64	3,37	3,25	0,0045	Laut Dalam
3	44,98	50 or 50,58	3,36	8,35	108,70	3,36	3,25	0,0003	Laut Transisi
4	44,95	25 or 25,58	3,36	8,35	108,11	3,35	3,23	0,0003	Laut Transisi
5	44,61	15 or 15,58	3,11	8,41	101,54	3,00	2,94	0,0003	Laut Transisi
6	40,18	10 or 10,61	2,74	8,31	87,74	2,60	2,54	0,0003	Laut Transisi
7	31,69	5 or 5,69	2,40	7,99	74,32	2,31	2,22	0,0003	Laut Transisi
8	23,04	1 or 1,76	2,25	7,80	57,35	2,19	1,97	0,0003	Laut Transisi
9	13,68	0,5 or 1,15	2,77	8,32	35,15	2,74	1,94	0,0003	Laut Dangkal
10	7,63	0,1 or 0,85	3,62	8,16	8,08	3,61	1,43	0,0003	Laut Dangkal

Merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan pada lokasi yang sama, menghasilkan nilai tinggi gelombang pecah sebesar 2,40 meter (Kahtijah dkk., 2022). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini tidak berbeda jauh dengan transformasi gelombang pada penelitian sebelumnya. Pada Tabel 4 diketahui bahwa tinggi gelombang sampai pada bibir pantai adalah sebesar 1,43 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pada pembangkitan gelombang yang dimodelkan dalam kondisi peramalan gelombang jangka panjang 50 tahun yang akan datang akan bersifat destruktif dan berpotensi akan menyebabkan erosi pada garis pantai. Selanjutnya data transformasi gelombang dan kondisi gelombang pecah inilah yang akan digunakan dalam desain bangunan pelindung pantai dalam penelitian ini.

3.2. Hasil Desain Layout Groin

Tata letak Groin direncanakan terpasang dari bagian garis pantai yang telah tergerus oleh gelombang ke arah laut. Agar dapat mencapai tujuan prediksi pembentukan garis pantai baru akibat dari adanya transport sedimen di sepanjang pantai, maka dilakukan perhitungan panjang Groin dan lebar antar Groin. Pada kondisi panjang Groin lebih kecil dari lebar *surf zone*, transport sedimen sepanjang pantai masih dimungkinkan melintas di ujung Groin untuk mensuplai daerah di sebelah hilir bangunan, dengan demikian erosi pada bagian hilir bangunan akan dapat berkurang (Triatmodjo, 2014). Adapun hasil desain perletakan Groin ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Desain layout Groin

Panjang wilayah pantai yang akan dilindungi adalah 425 meter, berdasarkan hasil perhitungan panjang struktur Groin adalah 95 meter, dengan jarak antara Groin adalah 100 meter. Diperkirakan pemasangan Groin akan menghasilkan pembentukan garis pantai baru dari adanya pengaruh transport sedimen disepanjang pantai. Perubahan garis pantai baru dalam penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode grafis yang diberikan oleh Hsu dan Evans (Muliati, 2020). Berdasarkan metode tersebut diperkirakan pada lokasi penelitian akan mengalami perubahan garis pantai baru dengan luas $\pm 1,77$ Ha. Namun hal ini perlu untuk diteliti lebih lanjut, untuk mengetahui waktu pembentukan garis pantai baru dengan volume sedimen yang terhalang oleh bangunan Groin.

3.2. Hasil Desain Dimensi Groin

Desain diomenional struktur Groin diawali dengan menghitung ketinggian elevasi puncak Groin yang dipengaruhi oleh kondisi *Run up* gelombang (Purnawanti dkk., 2020). *Run up* gelombang ditentukan bersarkan kedalaman struktur, tinggi gelombang, panjang gelombang dan kemiringan

struktur Groin. Berdasarkan perancangan layout yang telah dilakukan, pada bagian ujung Groin berada pada kedalaman 3,05 meter dengan kondisi ujung bangunan Groin berada di setelah gelombang pecah. Pada kedalaman tersebut tinggi gelombang pecah yang terjadi adalah sebesar 1,97 meter. Kemiringan struktur Groin menggunakan kemiringan 1:2, hal ini mengacu pada kemiringan pantai yang relatif landai, serta agar dapat memperkecil *Run up* gelombang, dengan kemiringan antara 1:2 dan 1:3 (Sari dkk., 2020). Penentuan *Run up* terlebih dahulu dilakukan dengan menentukan bilangan Iribaren yang terjadi. Bilangan Iribaren pada kasus ini adalah 2,51 yang didapatkan dari persamaan yang diberikan oleh (Triatmodjo, 2014). Jenis batuan pelindung yang digunakan dalam struktur Groin adalah tetrapod, maka dapat diketahui nilai *Run up* yang terjadi adalah 1,47 meter.

Selanjutnya penentuan elevasi puncak Groin ditentukan berdasarkan nilai fluktuasi HHWL, *Run up*, Tinggi kebebasan yang diambil 0,10 meter, dan pengaruh pemanasan global. Struktur Groin direncanakan untuk masa layan selama 50 tahun, yaitu pada tahun 2072. Berdasarkan grafik kenaikan muka air laut dari efek pemanasan global, pada tahun tersebut diperkirakan air laut akan naik mencapai 40 cm (Triatmodjo, 2014). Sehingga didapatkan nilai elevasi puncak struktur Groin adalah +82,17 meter. Dengan demikian tinggi total struktur Groin adalah 4,49 meter. Jika dibandingkan dengan konstruksi dinding penahan yang berada pada arah Selatan dari lokasi studi, tinggi struktur Groin yang dihasilkan dari perhitungan masih lebih rendah dibandingkan dengan struktur dinding penahan tersebut. Berdasarkan pengukuran langsung yang dilakukan, elevasi struktur dinding penahan tersebut adalah +84,00 meter, dengan demikian tinggi struktur dinding penahan diukur dari elevasi dasar laut tempat Groin direncanakan adalah sebesar 6,85 meter. Sehingga antara struktur dinding penahan dengan Groin yang direncanakan memiliki perbedaan tinggi sebesar 2,36 meter. Berdasarkan hal tersebut, dapat dinyatakan bahwa tinggi struktur Groin yang dirancang dapat representatif untuk 50 tahun kedepan.

3.3. Hasil Desain Struktur Groin

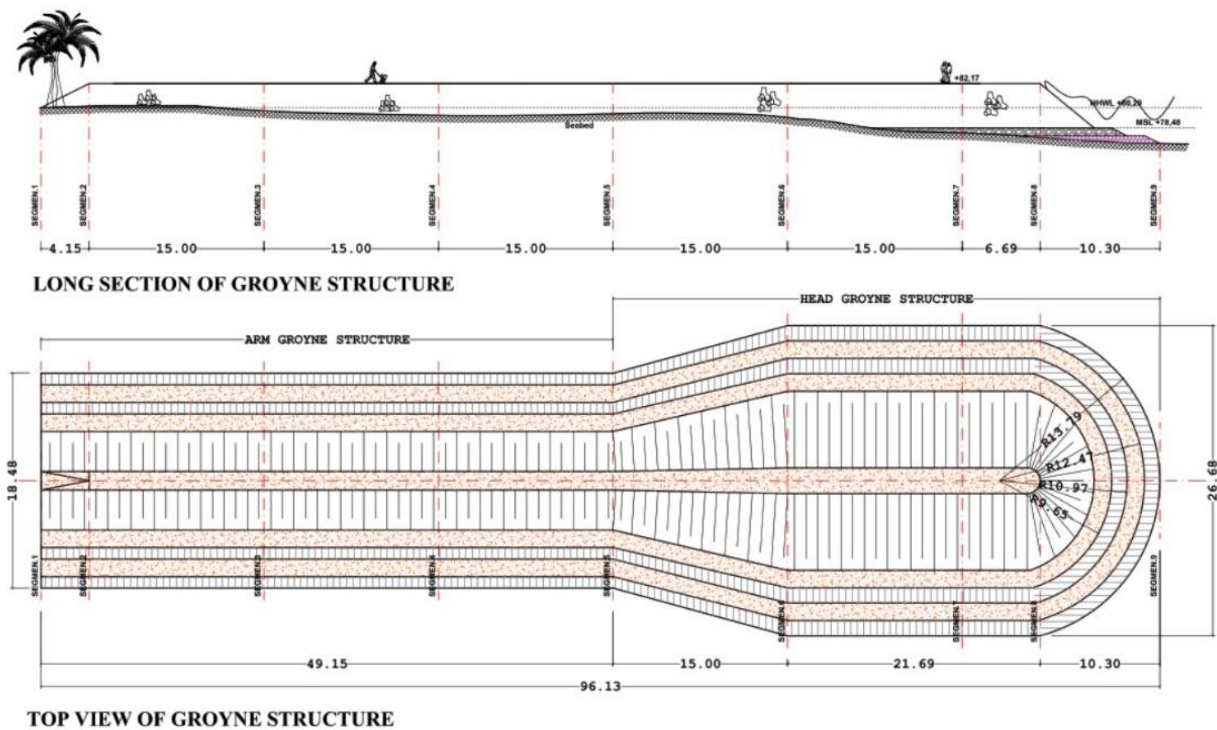
Ketebalan lapisan dan lebar struktur Groin ditentukan berdasarkan stabilitas unit lapis pelindung dengan menggunakan persamaan Hudson (Naiborhu dkk., 2020). Jenis armor pelindung yang digunakan adalah tetrapod dengan sudut kasar, dengan jumlah susunan butir adalah 2 karena struktur Groin berada pada gelombang pecah. Pada bagian lengan Groin nilai K_D yang digunakan adalah 7,0 dan pada bagian kepala Groin nilai K_D yang digunakan adalah 4,5. Hasil perhitungan struktur Groin pada setiap segemen ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan struktur Groin

Segmen	Hb (m)	γ_r (kg/m ²)	γ_a (kg/m ²)	Sr	Position	K_D	Cot θ	W (kg)	B (m)	B_{use} (m)	t_1 (m)	W/200 (kg)	t_2 (m)	W/10 (kg)	t_{toe} (m)
1	1,63				Arm	7	2	304,84	1,57	1,60	1,05	1,52	0,18	30,48	0,49
2	1,63				Arm	7	2	304,84	1,57	1,60	1,05	1,52	0,18	30,48	0,49
3	1,64				Arm	7	2	314,17	1,58	1,60	1,06	1,57	0,18	31,42	0,49
4	1,69				Arm	7	2	342,89	1,63	1,60	1,09	1,71	0,19	34,29	0,50
5	1,67	2400	1025	2,34	Arm	7	2	333,20	1,62	1,60	1,08	1,67	0,18	33,32	0,50
6	1,71				Head	4,5	2	555,74	1,92	2,20	1,28	2,78	0,22	55,57	0,59
7	1,87				Head	4,5	2	721,00	2,09	2,20	1,39	3,61	0,24	72,10	0,65
8	1,91				Head	4,5	2	772,86	2,14	2,20	1,43	3,86	0,24	77,29	0,66
9	1,97				Head	4,5	2	845,29	2,20	2,20	1,47	4,23	0,25	84,53	0,68

Penentuan berat butir pelindung pada posisi *underlayer* dan *core* mengacu pada SPM 1984, dengan berat butir pelindung *underlayer* atau lapis kedua adalah W/200 dengan gradasi ukuran butir 150 sampai 50. Sedangkan untuk lapisan inti adalah W/4000 dengan gradasi ukuran butir 170 sampai 30,

dan pada bagian *bedding layer* dan struktur *toe apron berm* ditentukan dengan $W/10$. Berdasarkan hasil perhitungan dimensi struktur Groin pada setiap pembagian segmen, ditemukan bahwa terjadi perbedaan tinggi gelombang disetiap segmen. Oleh sebab itu akan menghasilkan ketebalan lapisan pelindung yang berbeda-beda. Agar struktur Groin kedepannya mudah untuk dikerjakan, maka desain penampang melintang dari struktur Groin mengacu pada 2 segmen utama, yaitu segmen 5 yang mewakili kondisi struktur Groin pada bagian lengan, dan segmen 8 yang mewakili kondisi struktur Groin pada bagian ujung kepala struktur. Pembagian segmen pada struktur Groin ditunjukkan pada Gambar 9.



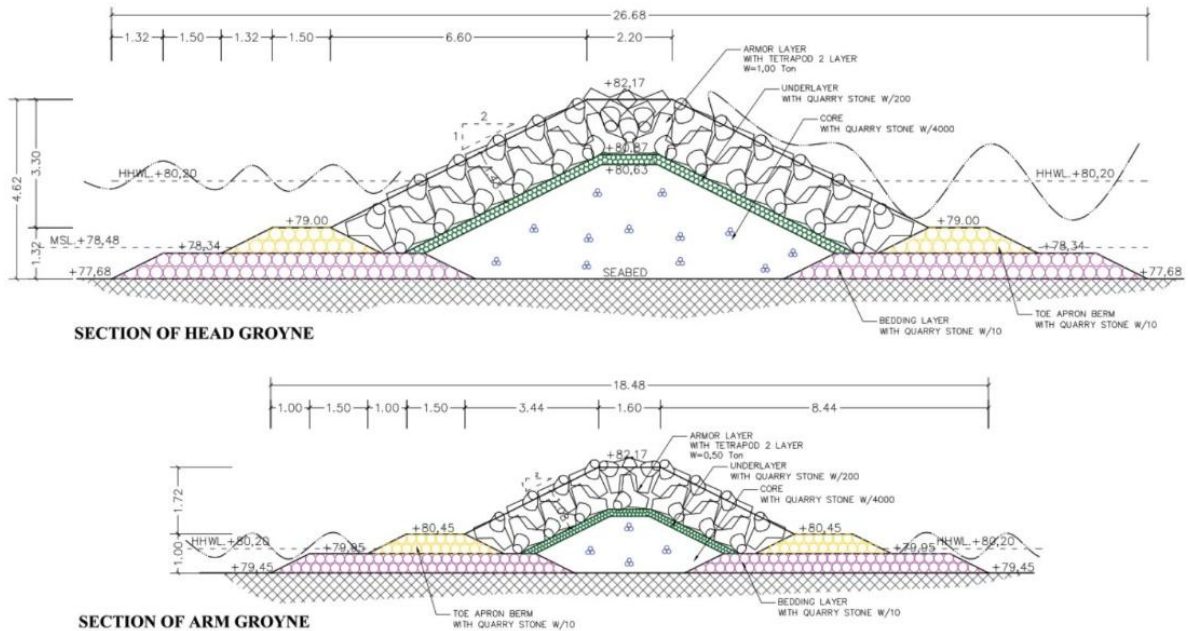
Gambar 9. Tampak atas dan potongan memanjang struktur Groin

Berdasarkan hasil desain dimensional struktur Groin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9, terlihat bahwa terjadi pembesaran lebar tapak struktur pada bagian ujung kepala Groin. Hal ini dipengaruhi oleh tinggi gelombang yang terjadi pada bagian tersebut lebih besar dibandingkan dengan segmen pada bagian lengan Groin. Nilai tinggi gelombang yang besar dipengaruhi oleh nilai kedalaman pada posisi ujung Groin tersebut. Semakin kedalaman mengecil ke arah pantai, maka tinggi gelombang yang dihasilkan juga akan mengecil, dan akan memberikan perubahan pada lebar struktur Groin. Perbedaan penampang melintang yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 10.

Pada bagian lengan Groin, lebar struktur akan lebih kecil dibandingkan pada bagian ujung kepala Groin, karena adanya dampak perubahan tinggi gelombang yang membebani dinding Groin. Gelombang yang menjalar dari laut dalam berangsur-angsur akan mengalami perubahan dari tinggi menjadi rendah, dan selanjutnya akan meningkat kembali pada posisi gelombang pecah yang bisa saja terjadi di bagian laut transisi maupun laut dangkal. Kemudian gelombang akan kembali bertransformasi hingga nilai tinggi gelombang akan menjadi kecil di daerah bibir pantai (Triatmodjo, 2016).

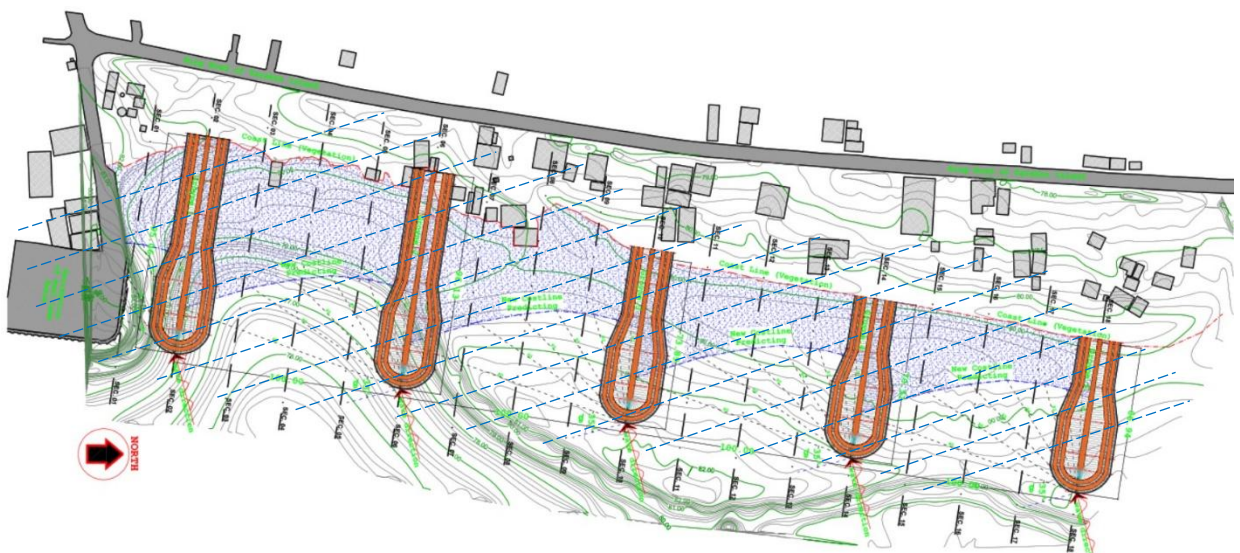
Selain berpengaruh pada dimensi, tinggi gelombang dan kedalaman juga memberikan pengaruh pada penentuan ketebalan dan ukuran dari butir lapis pelindung struktur Groin. Pada bagian ujung kepala Groin, lapis pelindung utama menggunakan tetrapod yang lebih besar dengan berat butir mendekati

1 Ton. Sedangkan pada bagian lengan Groin, ukuran tetrapod yang digunakan lebih kecil dengan berat butir mendekati 0,50 Ton. Pemilihan jenis tetrapod sebagai material lapis pelindung dalam studi ini disebabkan oleh tidak tersedianya batu peindung (*Quarry stone*) dengan ukuran dan berat yang dibutuhkan untuk mengantisipasi serangan gelombang yang dapat menyebabkan abrasi di sepanjang Pantai Amal Baru. Ketersediaan *quarry stone* di Pulau Tarakan hanya mampu untuk mencapai kebutuhan kekuatan struktur pada bagian lapis kedua, lapis inti, dan perlindungan kaki dan tumit dari struktur Groin.



Gambar 10. Perbandingan penampang melintang struktur Groin

Selanjutnya hasil *ploting* bentuk Groin pada layout lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 11. Pada gambar tersebut menunjukkan posisi pembagian struktur Groin di sepanjang lokasi penelitian, dimana terdapat 5 struktur Groin yang terpasang ke arah laut. Terlihat panjang setiap Groin berbeda-beda menyesuaikan kondisi perbedaan garis pantai yang mengalami erosi, dengan lebar struktur yang sama.



Gambar 11. Layout desain pemasangan Groin

Pada Gambar 11, garis putus berwarna biru merupakan representasi gelombang yang datang dari arah pembelokan setelah mengalami kondisi *Breaking Wave*. Setelah struktur Groin terpasang di lokasi pantai, maka beberapa bagian gelombang di sepanjang garis gelombang yang sama akan membentur Groin, sehingga berbelok dan mengakibatkan fenomena defraksi. Defraksi merupakan proses gelombang datang dan terhalang oleh suatu rintangan baik *breakwater* maupun pulau, sehingga gelombang berbelok mengelilingi ujung rintangan lalu masuk ke daerah terlindung di belakang rintangan (Imbar, 2020). Transformasi akibat fenomena defraksi ini akan memberikan dampak pada perubahan tinggi gelombang yang sampai ke garis pantai maupun sampai pada struktur Groin yang lainnya. Nilai tinggi gelombang setelah proses defraksi tersebut akan menjadi kecil, sehingga dampak yang diberikan pada struktur Groin disebelahnya akan lebih kecil, dengan demikian maka lebar puncak, ketebalan lapisan, berat lapis pelindung juga dapat dioptimalkan, menyesuaikan dengan kondisi setelah terjadi fenomena defraksi. Adanya optimalisasi tersebut akan berdampak pada kebutuhan akan biaya pelaksanaan pada pekerjaan struktur Groin.

Setelah Groin dibangun, maka akan terjadi perubahan garis pantai baru, namun belum diketahui pasti hubungan perubahan garis pantai baru dengan waktu proses tersebut akan terjadi. Perubahan garis pantai tersebut dapat diperkirakan dengan menggunakan model matematik yang didasarkan pada imbalanced sedimen pantai. Perubahan profil pantai tersebut sangat dipengaruhi oleh angkutan sedimen tegak lurus pantai (Triatmodjo, 2016). Prediksi terhambatnya abrasi yang terjadi di lokasi penelitian mungkin saja akan terjadi, namun perlu adanya penelitian lebih lanjut yang dapat dilakukan dengan skala cakupan lebih besar. Hal ini perlu untuk dilakukan untuk mengetahui dampak negatif yang mungkin akan terjadi pada bagian pantai lain yang masih dalam satu garis pantai yang sama. Dampak yang mungkin saja bisa terjadi adalah adanya abrasi baru di sebelah Utara dari lokasi penelitian. Sebagai contohnya, pada penelitian yang lainnya di lokasi Pantai Salido Sumatera Barat, dilakukan kajian terhadap perubahan garis pantai akibat dari adanya pembangunan Groin. Berdasarkan penelitian tersebut, ditemukan bahwa struktur Groin yang dibangun efektif dalam menangkap pergerakan sediman, sehingga mampu mempertahankan kestabilan garis pantai. Namun keberadaan Groin menyebabkan terjadinya abrasi pada sisi hilir Groin, dan mengakibatkan terkikisnya pantai sepanjang 78 meter. Oleh sebab itu, struktur Groin perlu untuk ditambah pada sisi hilir dari jajaran struktur Groin (Hamidi dkk., 2019).

Beberapa hipotesis tersebut perlu untuk dilakukan studi lebih lanjut, sebagai upaya dalam menyempurnakan penelitian yang dilakukan saat ini, dengan demikian akan memberikan hasil penelitian yang lebih baik untuk memberikan masukan dalam penanggulangan permasalahan abrasi di Pantai Amal Baru Pulau Tarakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Panjang struktur Groin hasil desain adalah 95 meter dengan jumlah sebanyak 5 unit struktur Groin yang di pasang dengan jarak antar struktur Groin adalah 100 meter.
2. Tinggi struktur Groin hasil desain adalah 4,49 meter dengan lebar bagian bawah struktur Groin terbagi menjadi 2 segmen, yaitu 18,48 meter untuk segmen lengan dan 26,48 meter untuk segmen kepala Groin.
3. Pada segmen lengan Groin berat butir lapis pelindung utama adalah 333,20 Kg, menggunakan tetrapod dengan ukuran berat 0,50 Ton, sedangkan pada segmen kepala Groin berat butir lapis pelindung utama yang dibutuhkan adalah 845,29 Kg menggunakan tetrapod dengan berat 1 Ton.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Borneo Tarakan dan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan, yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini baik secara materi maupun non-materi.

Daftar Pustaka

- Agung, P. A. M., & Novianto, D. (2020). Bangunan Pengambilan Air Laut (Sea Water Intake) Berbasis Struktur Revetment dan Groins. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.52158/jaceit.v1i1.18>
- Badan Informasi Geospasial. (2021, Januari 5). Geoportal Badan Informasi Geospasial.
- Badan Informasi Geospasial. (2023, Januari 5). DEMNAS, Seamless Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional.
- 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*, 27(1), 133. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2023.1.015>
- Balai Riset dan Observasi Laut. (2023, Februari 1). Sistem Prediksi Pasang Surut. http://118.97.27.100/imro-ofs/index.php#show_form.
- BPS Kota Tarakan. (2022). Kecamatan Tarakan Timur Dalam Angka (Vol. 1).
- cds. (2023, Januari 2). Climate Data Store. <https://cds.climate.copernicus.eu/>
- CERC. (1984). Shore Protection Manual (Vol. 1). Department of The Army US Army Corps of Engineers.
- Cham, D. D., Son, N. T., Minh, N. Q., Thanh, N. T., & Dung, T. T. (2020). An analysis of shoreline changes using combined multitemporal remote sensing and digital evaluation model. *Civil Engineering Journal*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091448>
- Djatkiko, E. B. (2012). Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di atas Gelombang Acak (1 ed., Vol. 1). ITS PRESS.
- Fadilah, Suripin, & Sasongko, D. P. (2014). Menentukan Tipe Pasang Surut dan Muka Air Rencana Perairan Laut Kabupaten Bengkulu Tengah Menggunakan Metode Admiralty. *Maspari Journal*, 6(1), 1–12. <http://masparijournal.blogspot.com>
- 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. *FTSP Series: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir*.
- Hamidi, W. El, Junaidi, Junaidi, A., & Hakam, A. (2019). Analisa perubahan garis pantai akibat bangunan pengamanan pantai (Groin) di Pantai Salido Pesisir Selatan Sumatera Barat. *Rekayasa Sipil*, 13(2), 126–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2019.013.02.7>
- Hasim, Z. A., & Abdul Basyid, M. (2021). Kajian perbandingan Digital Elevation Model (DEM) UAV dengan Digital Elevation Model (DEM) Topografi (Studi Kasus: PT. Torganda Kawasan Industri Lubuk Gaung Tanjung Penyembal-Sungai Sembilan Kota Dumai). *FTSP Series 2 : Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir*, 594–604.
- Holthuijsen, L. H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge University Press.
- Illona, D. J., Jaya, Y. V., Koenawan, C. J., & Suhana, M. P. (2018). Global Warming dan Pengaruhnya Terhadap Karakteristik Gelombang Laut di Pantai Timur Pulau Bintan yang

- Ditinjau dari Prespektif Klimatologi. *Dinamika Maritim, Coastal and Marine Resources Research Center*, 7(1), 20–26.
- Imbar, S. E. J. (2020). Analisa deformasi gelombang pada pantai Minahasa Barat. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1), 65–70. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/27709>
- Kahtijah, S., Utomo, E., & Hermansyah, M. (2022). Kajian Karakteristik Gelombang Pecah di Pantai Amal Baru Kota Tarakan. *Civil Engineering Scientific Journal*, 1(1), 75–85.
- Kamil, E. A., Takaijudin, H., & Hashim, A. M. (2021). Mangroves as coastal bio-shield: A review of mangroves performance in wave attenuation. *Civil Engineering Journal*, 7(11), 1964–1981. <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091772>
- Marlina. (2017). Kajian Pasang Surut Air Laut di Perairan Kota Tarakan Menggunakan Metode Admiralty.
- Mori, N., Yasuda, T., Mase, H., Tom, T., & Oku, Y. (2010). Projection of Extreme Wave Climate Change under Global Warming. *Hydrological Research Letters*, 4(1), 15–19.
- Muliati, Y. (2020). *Rekayasa Pantai* (1 ed.). Itenas.
- Mulyabakti, C., Ihsan Jasin, M., & Mamoto, J. D. (2016). Analisis Karakteristik Gelombang dan Pasang Surut pada Daerah Pantai PAAL Kecamatan Likupang Timur Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 4(9), 585–594. <http://eprints.undip.ac.id/>
- Naiborhu, M. A., Purnawanti, Y. N., & Kumalasari, S. D. (2020). Desain dan Construction of Sloping Breakwater. *Jurnal Teknik Transportasi*, 1(2), 106–120. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.54324/jtt.v1i2.537>
- Purnawanti, Y. N., Ayunda, L. D., & Santoso, A. R. (2020). Planning Study of Revetment and Groin as a Response to Camplong Beach Erosion Treatment in Sampang Madura Regency. *Jurnal Teknik Transportasi*, 1(1), 70–85. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.54324/jtt.v1i1>
- Purwono, N. A. S., & Sismiani, A. (2018). Peramalan Kejadian Gelombang Pantai Watunohu dengan Pendekatan Empiris Analisa Data Angin. *Teodolita*, 19(2), 1–10.
- Sangari, C. P., Jansen, T., & Tawas, H. (2019). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Pantai Kalinaung Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 975–984. <http://laboseanografi.mipa.unsri.ac.id/>
- Sari, L. P., Muliadi, & Risko. (2020). Estimasi Tinggi Gelombang Laut di Perairan Pantai Kijing Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Prisma Fisika*, 8(1), 50–56.
- Suhana, M. P., Nurjaya, I. W., & Natih, N. M. N. (2018). Karakteristik Gelombang Laut Pantai Timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau Tahun 2005-2014. *Dinamika Maritim*, 6(2), 16–19. <http://ojs.umrah.ac.id/index.php/dinamikamaritim>
- Syafik, A., Kunarso, & Hariadi. (2013). Pengaruh Sebaran dan Gesekan Angin Terhadap Sebaran Suhu Permukaan Laut di Samudera Hindia (Wilayah Pengelolaan Perikanan Republik Indonesia 573). *J-OCE UNDIP, Jurnal Oseanografi*, 2(3), 318–328.
- Syahailatua, A. (2008). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Perikanan. *Oseana*, 33(2), 25–32.
- Triatmodjo, B. (2003). *Pelabuhan* (Vol. 6). Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2014). *Perencanaan Bangunan Pantai* (3 ed.). Beta Offset.
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai* (8 ed.). 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 (CESJ)*, 2(3), 127–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.35334/cesj.v2i3>
- Utomo, E., & Djaya Bakri, M. (2023). Studi Perubahan Garis Pantai dengan Metode DSAS (Digital Shoreline Analysis System) Sebagai Upaya Identifikasi Erosi di Pantai Utara Pulau Tarakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 216–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.35334/be.v7i2.4208>
- Utomo, E., Hidayat, W., & Chandra, Y. (2022). Analisis Kombinasi Metode Pengukuran Terrestrial Dan Fotogramteri Pada Penyusunan Master Plan Sekolah NU Kota Tarakan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 6(3), 215–228. <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.2996>
- Windupranata, W., Hanifa, N. R., Nusantara, C. A. D. S., Aristawati, G., & Arifianto, M. R. (2020). Analysis of tsunami hazard in the Southern Coast of West Java Province - Indonesia. *IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science, 618(1), 1–15.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/618/1/012026>

Zulfikar, Jaya, Y. V., Pratomo, A., Putra, R. D., & Suhana, M. P. (2018). Variabilitas Spasial Suhu Permukaan Laut Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau pada Empat Musim Berbeda. *Dinamika Maritim*, Coastal and Marine Research Center, Raja Ali Haji Maritime University., 6(2), 12–15.