

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Amalia Nashibah

NIM : D1111211009

menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul “Penentuan Model Pelindung Pantai Menggunakan Software Delft3D Di Pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat” tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 31 Juli 2025

Putri Amalia Nashibah
NIM D1111211009

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya penulis mampu untuk menyelesaikan penulisan Skripsi ini yang merupakan salah satu tugas dan syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak dengan judul **“PENENTUAN MODEL PELINDUNG PANTAI MENGGUNAKAN *SOFTWARE DELFT3D* DI PANTAI TANJUNG BURUNG MEMPAWAH, KALIMANTAN BARAT”**.

Dalam menulis skripsi ini penulis banyak sekali mendapat tantangan dan hambatan, namun semuanya dapat diselesaikan. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Bapak Dr. Eng. M. Meddy Danial, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan sekaligus Dosen Pembimbing Utama Tugas Akhir.
3. Ibu Ir. Jasisca Meirany, S.T., M.Si selaku Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Kelautan dan sekaligus Dosen Pembimbing Pembantu Tugas Akhir.
4. Ibu Arfena Deah Lestari, S.T., M. Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan sekaligus Dosen Penguji Utama Tugas Akhir.
5. Ibu Liany Ayu Catherine, S.T., M.T selaku Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan sekaligus Dosen Penguji Pembantu Tugas Akhir.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak.
7. Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk Mama saya tercinta, Fitriani, yang telah membesarkan saya seorang diri dengan penuh cinta, kesabaran, dan perjuangan sejak saya masih bayi hingga saat ini. Terima kasih atas segala-galanya.
8. Terima kasih juga untuk Ucu saya, Fatmawati, yang senantiasa membantu Mama dalam membesarkan saya dan yang selalu memperhatikan saya. Dan

terimakasih kepada Om Ari Dwi Widodo yang dengan tulus telah membantu memenuhi kebutuhan saya, mulai dari pendidikan hingga kebutuhan sehari-hari.

9. Terima kasih juga untuk kakak dan abang saya yang selalu mensupport saya dalam hal apapun.
10. Serta kepada kawan-kawan angkatan 2021 yang telah membantu dan mendukung saya dalam penyusunan skripsi ini.
11. TShlhani terimakasih naks baik yang selalu membantu dalam berbagai hal.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan. Maka dari itu, saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan penulis untuk menyempurnakan penelitian ini.

Pontianak, April 2025

Putri Amalia Nashibah

D1111211009

ABSTRAK

Pantai Tanjung Burung di Kecamatan Mempawah, Kalimantan Barat, mengalami abrasi akibat gelombang laut yang membawa energi besar dari laut terbuka. Gelombang signifikan yang mencapai garis pantai mengubah distribusi sedimen dan mempercepat kerusakan pesisir. Kondisi ini memerlukan strategi perlindungan pantai yang efektif dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas breakwater dan vegetasi mangrove dalam meredam gelombang signifikan (H_s) serta mengendalikan sedimentasi. Analisis dilakukan untuk menentukan metode perlindungan pantai yang paling tepat untuk pantai Tanjung Burung. Metode penelitian menggunakan perangkat lunak Delft3D dengan modul WAVE untuk simulasi gelombang dan modul FLOW untuk arus serta transport sedimen. Pemodelan dilakukan untuk tiga skenario: kondisi alami tanpa perlindungan, kondisi dengan breakwater, dan kondisi dengan vegetasi mangrove. Data masukan meliputi batimetri, pasang surut, angin, gelombang, dan ukuran butir sedimen (D_{50}). Hasil menunjukkan bahwa pada kondisi alami, H_s mencapai sekitar 2,4 meter dan bergerak bebas menuju pantai tanpa hambatan. Breakwater menurunkan H_s di belakang struktur menjadi sekitar 1,2 meter, paling efektif pada gelombang dari arah barat laut. Perubahan pola sedimentasi terjadi dengan penumpukan sedimen di sisi luar dan berkurangnya material sedimen di bagian dalam yang berpotensi menyebabkan pendangkalan serta erosi lokal. Vegetasi mangrove mempengaruhi pola sedimentasi dengan menjebak sedimen di antara akar-akar sehingga terjadi akumulasi di area sekitar vegetasi. Pola sedimentasi yang terbentuk cenderung menumpuk di zona perlindungan dan membantu menjaga kestabilan garis pantai, sekaligus mengurangi potensi erosi. Kesimpulannya, vegetasi mangrove lebih sesuai sebagai perlindungan pantai di Tanjung Burung karena mampu meredam gelombang secara alami, menjaga kestabilan sedimentasi, dan memberikan manfaat ekologis berkelanjutan.

Kata kunci : vegetasi mangrove, breakwater, gelombang signifikan, sedimentasi, Delft3D, perlindungan pantai

ABSTRACT

Tanjung Burung Beach in Mempawah District, West Kalimantan, is experiencing severe coastal erosion caused by ocean waves carrying high energy from the open sea. Significant waves reaching the shoreline alter sediment distribution and accelerate coastal damage. This condition requires an effective and sustainable coastal protection strategy. This study aims to analyze the effectiveness of breakwaters and mangrove vegetation in reducing significant wave height (H_s) and controlling sedimentation, in order to determine the most appropriate coastal protection method for Tanjung Burung Beach. The research method employed Delft3D software with the WAVE module for wave simulation and the FLOW module for current and sediment transport modeling. Three scenarios were simulated: natural conditions without protection, conditions with breakwaters, and conditions with mangrove vegetation. Input data included bathymetry, tides, wind, waves, and sediment grain size (D_{50}). The results show that under natural conditions, H_s reaches approximately 2.4 meters and propagates freely toward the shore without any obstruction. Breakwaters reduce H_s behind the structure to around 1.2 meters, most effectively for waves coming from the northwest. However, changes in sedimentation patterns occur, with sediment accumulation on the seaward side and reduced material on the landward side, potentially causing shoaling and localized erosion. Mangrove vegetation influences sedimentation patterns by trapping sediments among its roots, resulting in accumulation within the protected zone. This sedimentation pattern tends to concentrate in the protection area, helping to maintain shoreline stability and reduce erosion potential. In conclusion, mangrove vegetation is considered more suitable as coastal protection for Tanjung Burung Beach, as it can naturally dissipate wave energy, maintain sediment stability, and provide long-term ecological benefits.

Keywords: mangrove vegetation, breakwater, significant wave height, sedimentation, Delft3D, coastal protection.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Proses Pantai.....	6
2.3 Pasang Surut.....	7
2.4 Bathimetri.....	8
2.5 Mawar Angin (<i>Wind Rose</i>).....	9
2.6 Gelombang	10
2.7 Transformasi Gelombang.....	12
2.7.1 Gelombang Pecah.....	12

2.8	Sedimentasi	13
2.9	Software Delft3D.....	14
2.10	Pelindung Pantai.....	18
2.11	Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1	Lokasi Penelitian	26
3.2	Jenis Penelitian	26
3.3	Data.....	27
3.3.1	Jenis Data	27
3.3.2	Metode Pengumpulan Data.....	28
3.4	Metode Analisa Data	28
3.4.1	Menentukan Tinggi dan Periode Gelombang.....	28
3.4.2	Pengolahan Data Batimetri	29
3.4.3	Pengolahan Data Pasang Surut.....	29
3.4.4	Sedimentasi	29
3.5	Prosedur Penelitian	29
3.5.1	Penginstalan Software Delft3D	30
3.5.2	Pembuatan Grid	30
3.5.3	Pembuatan Batimetri.....	32
3.5.4	Proses Running	32
3.6	Diagram Alir Penelitian	34
3.7	Jadwal Penelitian	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Data Arah Gelombang	36
4.2	Input Data.....	38
4.2.1.	Wave	38

4.2.2.	Wave Flow (Alami)	40
4.2.3.	Wave Flow Breakwater.....	44
4.2.4.	Wave Flow Vegetasi Magrove	45
4.3	Klasifikasi Sedimentasi.....	46
4.4	Hasil Alami Tanpa <i>Breakwater</i>	48
4.4.1	Tanpa <i>Breakwater</i> dari Arah Barat Daya.....	48
4.4.2	Tanpa <i>Breakwater</i> dari Arah Barat.....	53
4.4.3	Tanpa <i>Breakwater</i> dari Arah Barat Laut.....	57
4.5	Hasil Dengan <i>Breakwater</i>	61
4.5.1	Penentuan Letak <i>Breakwater</i>	61
4.5.2	<i>Breakwater</i> dari Arah Barat Daya	62
4.5.3	<i>Breakwater</i> dari Arah Barat	67
4.5.4	<i>Breakwater</i> dari Arah Barat Laut	72
4.6	Hasil Dengan Vegetasi Mangrove	77
4.6.1	Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Daya.....	77
4.6.2	Vegetasi Mangrove dari Arah Barat	81
4.6.3	Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Laut	84
4.7	Analisa Hasil	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		90
5.1	Kesimpulan.....	90
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		93
LAMPIRAN		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Wilayah Pantai Tanjung Burung.....	3
Gambar 2. 1	Mawar Angin (Wind Rose)	9
Gambar 2. 2	Grafik Peramalan Gelombang.....	11
Gambar 2. 3	Sistem koordinat spherical dan system	16
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian.....	26
Gambar 3. 2	Lokasi Sampel Sedimen	28
Gambar 3. 3	Software DELFT3D	30
Gambar 3. 4	Land Boundary.....	31
Gambar 3. 5	Pembuatan Grid.....	31
Gambar 3. 6	Batimetri pada Quickin.....	32
Gambar 4. 1	Diagram Waverose.....	36
Gambar 4. 2	Data gelombang ECMWV.....	37
Gambar 4. 3	Penginputan data grid dan batimetri.....	38
Gambar 4. 4	Data input Pasang Surut	38
Gambar 4. 5	Data Input Gelombang	39
Gambar 4. 6	Nonaktifkan Whitecapping	39
Gambar 4. 7	Aktifkan Grids	40
Gambar 4. 8	Toolbar Domain	40
Gambar 4. 9	Toolbar Time Frame.....	41
Gambar 4. 10	Toolbar Processes.....	42
Gambar 4. 11	Toolbar Boundaries	42
Gambar 4. 12	Toolbar Physical Parameters.....	43
Gambar 4. 13	Toolbar Monitoring	44
Gambar 4. 14	Toolbar Output.....	44
Gambar 4. 15	Toolbar Obstacles.....	45
Gambar 4. 16	Input Manning di Quickin	45
Gambar 4. 17	Toolbar Physical Parameter Roughness	46
Gambar 4. 18	Segitiga Tekstur Tanah.....	46
Gambar 4. 19	Hs tanpa breakwater dari arah barat daya.....	48
Gambar 4. 20	Vektor gelombang tanpa breakwater dari arah barat daya	49
Gambar 4. 21	Sedimentasi tanpa breakwater dari arah barat daya	51

Gambar 4. 22	Grafik hs tanpa breakwater dari arah barat daya.....	52
Gambar 4. 23	Hs tanpa breakwater dari arah barat	53
Gambar 4. 24	Vektor gelombang tanpa breakwater dari arah barat	54
Gambar 4. 25	Sedimentasi tanpa breakwater dari arah barat	56
Gambar 4. 26	Hs tanpa breakwater dari arah barat laut	57
Gambar 4. 27	Vektor gelombang tanpa breakwater dari arah barat laut.....	58
Gambar 4. 28	Sedimentasi tanpa breakwater dari arah barat laut.....	60
Gambar 4. 29	Hs dengan breakwater dari arah barat daya	62
Gambar 4. 30	Vektor gelombang dengan breakwater dari arah barat daya	63
Gambar 4. 31	Sedimentasi dengan breakwater dari arah barat daya	64
Gambar 4. 32	Grafik hs dengan breakwater dari arah barat daya.....	65
Gambar 4. 33	Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan breakwater arah barat daya.....	66
Gambar 4. 34	Hs dengan breakwater dari arah barat	67
Gambar 4. 35	Vektor gelombang dengan breakwater dari arah barat.....	68
Gambar 4. 36	Sedimentasi dengan breakwater dari arah barat.....	69
Gambar 4. 37	Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan breakwater arah barat	71
Gambar 4. 38	Hs dengan breakwater dari arah barat laut	72
Gambar 4. 39	Vektor gelombang dengan breakwater dari arah barat laut	73
Gambar 4. 40	Sedimentasi dengan breakwater dari arah barat laut	74
Gambar 4. 41	Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan breakwater arah barat laut	75
Gambar 4. 42	Grafik perbandingan Hs dengan breakwater dari barat daya, barat, dan barat laut	76
Gambar 4. 43	Hs dan vektor gelombang vegetasi mangrove arah barat daya.....	77
Gambar 4. 44	Grafik hs vegetasi mangrove dari arah barat daya	78
Gambar 4. 45	Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat daya	78
Gambar 4. 46	Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan vegetasi arah barat daya	80
Gambar 4. 47	Hs dan vektor gelombang vegetasi mangrove dari arah barat	81
Gambar 4. 48	Grafik hs vegetasi mangrove dari arah barat	81

Gambar 4. 49 Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat	82
Gambar 4. 50 Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan vegetasi mangrove arah barat.....	83
Gambar 4. 51 Hs dan vector gelombang vegetasi mangrove arah barat laut	84
Gambar 4. 52 Grafik hs vegetasi mangrove arah barat laut	84
Gambar 4. 53 Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat laut	85
Gambar 4. 54 Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dengan vegetasi mangrove arah barat laut	86
Gambar 4. 55 Grafik perbandingan hs vegetasi mangrove dari arah barat daya, arah barat dan barat laut.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen dalam Skala Wentwort	14
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	35
Tabel 4. 1 D50 dalam klasifikasi wentworth	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara kepulauan dan Negara maritim memiliki tidak kurang dari 17.000 pulau dengan panjang wilayah pantai lebih dari 80.000 km. Wilayah pantai ini merupakan daerah yang sangat sensitive yang dimanfaatkan untuk kegiatan manusia, seperti kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian, perikanan tangkap, pariwisata, dan sebagainya[1].

Pesatnya peningkatan jumlah dan aktivitas penduduk mengakibatkan adanya peningkatan pemanfaatan lahan di wilayah pesisir, selain itu adanya kenaikan permukaan laut yang sedang dan semakin cepat akibat perubahan iklim, merupakan sebuah ancaman nyata terhadap fenomena abrasi pantai dan berdampak negatif terhadap kehidupan masyarakat pesisir. Pada wilayah pesisir yang rentan terhadap aktivitas baik di darat maupun di laut, abrasi sangat sering terjadi. Terjadinya gelombang tinggi dan pasang surut air laut, penambangan pasir, serta pembukaan hutan bakau merupakan aktivitas yang menyebabkan terjadinya abrasi atau pengikisan pantai. Abrasi menjadi permasalahan serius yang menyebabkan pantai di beberapa wilayah Indonesia menyempit[2].

Abrasi merupakan dampak negatif dari fenomena kenaikan muka air laut yang dapat dirasakan secara langsung. Peningkatan muka air laut yang dipicu pemanasan global yang menyebabkan perubahan iklim menjadi berkurangnya luas kawasan pesisir. Adanya kejadian Abrasi pantai di daratan mengakibatkan adanya perpindahan sedimen yang menjauh dari lokasi aslinya dan menuju ke arah datangnya gelombang, sehingga mengubah garis pantai[3].

Perubahan garis pantai merupakan masalah serius yang dihadapi oleh banyak wilayah pesisir di seluruh dunia. Salah satu penyebab utamanya adalah abrasi pantai. Sebenarnya abrasi pantai merupakan proses alami di mana garis pantai secara bertahap terkikis dan tererosi oleh kekuatan ombak, arus, dan pasang surut. Namun hal tersebut dapat lebih cepat terjadi jika didukung oleh beberapa faktor. Salah satu faktor alaminya adalah perubahan iklim yang mengakibatkan kenaikan muka air laut[4].

Kerusakan pantai akibat gelombang dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk:

- a. Perubahan iklim dapat mempengaruhi pola gelombang laut dan kekuatannya. Peningkatan frekuensi dan intensitas badai laut akibat perubahan iklim juga dapat menyebabkan kerusakan pantai yang lebih serius
- b. Peningkatan permukaan air, gelombang tinggi akibat badai atau perubahan iklim, seperti kenaikan permukaan air laut yang disebabkan oleh pemanasan global, dapat mengakibatkan gelombang yang lebih tinggi dan tekanan air laut yang lebih tinggi pada pantai. Hal ini dapat menyebabkan genangan air laut yang merusak pantai dan daerah sekitarnya

Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang mempunyai luas wilayah sebesar 147.307 km atau 1,13 kali luas pulau Jawa dan termasuk provinsi terbesar ketiga setelah provinsi Papua. Kalimantan Barat secara geografis terletak pada posisi $2^{\circ}05'LU - 3^{\circ}05'LS$ dan $108^{\circ}30' - 114^{\circ}10'BT$, dengan ibukota pemerintahannya berada di Pontianak. Secara kewilayahan, Kalimantan Barat dibagi menjadi 3 wilayah, yaitu pesisir (kepulauan), pedalaman dan perbatasan antar Negara. Dengan adanya wilayah yang berbatasan langsung dengan laut, Kalimantan Barat sendiri mempunyai total garis pantai sepanjang 1.398 km. Dengan luas wilayah laut sebesar 30.364,59 km. Oleh sebab itu, di hampir semua wilayah pesisir Kalimantan Barat mempunyai banyak pantai. Akan tetapi garis pantai yang berada pada Kalimantan Barat ini rentan mengalami kerusakan.

Salah satu pantai yang terkena abrasi adalah Pantai Tanjung Burung di Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat yang mengalami kerusakan parah akibat abrasi pantai yang disebabkan oleh gelombang pasang dan ombak tinggi. Setiap tahun, puluhan rumah warga di sepanjang pantai terancam banjir air laut, dan beberapa rumah telah rusak parah dan tidak dapat dihuni lagi akibat abrasi dan kerusakan tanggul. Kondisi ini diperburuk oleh gelombang tinggi yang terjadi pada tahun 2020, 2021, dan 2022, yang menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada pemukiman dan fasilitas di sepanjang pantai. Sekitar dua kilometer daratan di pesisir Pantai Mangrove Tanjung Burung tenggelam menjadi lautan[5]. Selain itu

hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam kurun waktu dua belas tahun, laju abrasi rata-rata adalah 29,04 meter per tahun[6].



Gambar 1. 1 Wilayah Pantai Tanjung Burung

Oleh karena itu dibutuhkan penanganan dalam mengatasi permasalahan ini, dan diperlukan solusi yang lebih efektif. Untuk mengurangi dampak abrasi, diperlukan studi pemodelan hidrodinamika menggunakan *software Delft3D* guna menentukan jenis pelindung pantai yang paling efektif berdasarkan data pasang surut, angin, batimetri, serta pola gelombang di kawasan tersebut. Dengan menggunakan *software Delft3D*, pemilihan pelindung pantai dapat dilakukan secara optimal berdasarkan kondisi batimetri, karakteristik gelombang, serta interaksi gelombang dengan struktur pelindung yang dirancang. *Delft3D* dikembangkan oleh Deltares dan telah digunakan secara luas di berbagai penelitian dan proyek rekayasa pesisir. Model ini memiliki beberapa modul utama, termasuk *Delft3D-FLOW* untuk simulasi hidrodinamika, *Delft3D-WAVE* untuk pemodelan gelombang.

Jenis pelindung pantai yang cocok untuk Pantai Tanjung Burung adalah *breakwater* dan penanaman mangrove. Dari dua jenis ini kita modelkan pada *software Delft3D* untuk mengetahui pelindung pantai jenis apa yang tepat untuk mengatasi abrasi Pantai Tanjung Burung.

1.2 Rumusan Masalah

Kondisi pantai tanjung burung saat ini mengalami kerusakan yang sangat parah karena abrasi. Penyebab abrasi pantai di wilayah ini disebabkan oleh proses alami seperti gelombang laut. Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan teori terhadap gelombang signifikan serta penentuan jenis pelindung pantai yang cocok untuk Pantai Tanjung Burung. Adapun rumusan masalah dari latar belakang diatas adalah :

1. Bagaimana menentukan jenis pelindung pantai yang tepat antara *breakwater* dan vegetasi mangrove menggunakan pemodelan *Delft3D*?
2. Bagaimana dampak yang terjadi setelah diberikan pelindung pantai (*breakwater* dan vegetasi mangrove)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan jenis pelindung pantai yang paling tepat antara *breakwater* dan vegetasi mangrove dengan menggunakan pemodelan numerik *Delft3D*, berdasarkan kondisi gelombang, dan sedimen di Pantai Tanjung Burung Kelurahan Tanjung Kecamatan Mempawah.
2. Mengetahui dampak sedimen yang terjadi pada wilayah pesisir setelah diberi perlindungan berupa *breakwater* maupun vegetasi mangrove.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan perbandingan efektivitas pelindung pantai antara *breakwater* dan vegetasi mangrove untuk mengatasi abrasi di Pantai Tanjung Burung Mempawah
2. Dapat memberikan informasi bagi instansi dan masyarakat untuk mengambil kebijakan dalam menanggulangi kerusakan yang terjadi dilokasi penelitian.
3. Dapat digunakan untuk sumber referensi pemerintah sebagai alternatif dalam mengantisipasi perubahan gelombang
4. Mengenalkan *software Delft3d* kepada pembaca agar dapat dijadikan referensi selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis memberikan batasan masalah untuk memudahkan pembahas. Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Pantai Tanjung Burung Kelurahan Tanjung Kecamatan Mempawah
2. Dalam penelitian ini hanya berfokus pada penentuan jenis pelindung pantai yang tepat seperti *breakwater* dan vegetasi mangrove.
3. Simulasi dilakukan dalam 3 tahap yaitu tanpa pelindung pantai, dengan *breakwater* dan dengan vegetasi mangrove
4. Penelitian ini tidak mendesain struktur pada bangunan pelindung pantai.
5. Data analisis menggunakan data sekunder.
6. *Software* yang digunakan adalah Delft3D
7. *Runing* hanya dilakukan 2 hari karena keterbatasan performa laptop.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan penjelasan tentang landasan teori yang digunakan berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan dan tinjauan pustaka yang memuat hasil dari penelitian sebelumnya.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisikan metode penelitian yang digunakan , membahas waktu dan lokasi penelitian.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil dan pengolahan data dari penelitian sehingga memberikan uraian dari penelitian.

5. Bab V Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang didapatkan selama penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Isitilah pantai sering rancu dalam pemakaiannya yaitu antara *coast* (pesisir) dan *shore* (pantai). Definisi *coast* (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan *shore* (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh pasang tertinggi dan surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi dibawahnya. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah-pindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Garis ini bisa berubah karena beberapa hal seperti pengikisan pantai (abrasi) dan sedimentasi yang terjadi di pantai. Pengikisan menyebabkan berkurangnya area daratan, sehingga menyebabkan berubahnya garis pantai. Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari satu tempat ke tempat lain, mengikis tanah dan kemudian mengendapkannya disuatu tempat secara berkelanjutan. Proses pergerakan gelombang datang pada pantai secara esensial berupa osilasi. Angin yang menuju ke pantai secara bersamaan dengan gerak gelombang yang menuju pantai berpasir secara tidak langsung mengakibatkan gesekan antara gelombang dan dasar laut, sehingga terjadilah gelombang pecah.

2.2 Proses Pantai

Proses pantai dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti gelombang, angin, topografi, dan batimetri. Perubahan morfologi dan sedimen pantai dapat terjadi dalam skala waktu pendek hingga panjang, menyebabkan majunya atau mundurnya garis pantai. Untuk memprediksi perubahan ini diperlukan pemahaman akan parameter seperti tinggi dan panjang gelombang, kelandaian pantai, serta tipe pecahan gelombang. Pantai terjadi karena adanya gelombang yang menghantam tepi daratan tanpa henti, sehingga mengalami pengikisan, gelombang penghancur tersebut dinamakan gelombang destruktif. Gelombang destruktif adalah jenis

gelombang laut yang memiliki energi tinggi dan dapat menyebabkan kerusakan pada pantai, struktur, dan ekosistem yang ada di sekitarnya. Gelombang ini biasanya terjadi dalam kondisi cuaca buruk, seperti badai atau angin kencang, dan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan pesisir.

Sebagian besar permasalahan pantai adalah erosi yang berlebihan. Erosi pantai terjadi apabila di suatu pantai yang ditinjau mengalami kehilangan/pengurangan sedimen, artinya sedimen yang terangkut lebih besar dari yang diendapkan. Akresi dan sedimentasi juga dapat mengurangi fungsi pantai atau bangunan-bangunan pantai, seperti pengendapan di muara yang dapat mengganggu aliran sungai dan lalu lintas pelayaran, serta pengendapan di pelabuhan dan alur pelayaran[7]. Tidak hanya erosi suatu pantai juga mengalami pengikisan atau disebut dengan abrasi pantai. Abrasi adalah proses terkikisnya batuan atau material keras seperti dinding atau tebing batu, yang biasanya diikuti dengan longsor atau runtuh material[8].

2.3 Pasang Surut

Pasang surut merupakan fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda – benda astronomi terutama oleh matahari, bumi dan bulan. Pengaruh benda angkasa lainnya yang dapat diabaikan dalam fenomena pasang surut air laut karena jaraknya lebih jauh atau ukurannya lebih kecil. Pada bidang kelautan kehidupan manusia setiap harinya, pasang surut sangat penting untuk dikaji sebagai keperluan seperti bidang geologi, pembangunan pelabuhan, lingkungan, bidang pertanian dan biologi, serta pengembangan pembangkit listrik tenaga pasang surut.

Pasang surut adalah sebuah fluktuasi yang terjadi pada muka air laut yang dapat disebabkan oleh adanya gaya tarik menarik pada benda – benda di langit seperti matahari dan bulan yang berpengaruh pada massa air laut di bumi. Massa bulan memang diketahui jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan massa matahari, namun perlu diketahui bahwa jarak dari bulan ke bumi jauh lebih dekat jika dibandingkan dengan jarak matahari ke bumi. Oleh karena itu, gaya tarik menarik yang disebabkan oleh bumi dan bulan juga jauh lebih besar jika dibandingkan dengan matahari. Gaya tarik bulan diketahui mempengaruhi aktivitas pasang surut

sebesar 2,2 kali lebih besar apabila dibandingkan dengan gaya tarik yang di sebabkan oleh matahari. Oleh sebab itu, gaya tarik menarik yang terjadi antara bumi dan bulan dapat menjadi satu sistem yang saling berhubungan dan menjadi satu kesatuan yang beredar secara bersama – sama mengikuti sumbu perputaran yang sama. Pembentukan dan aktivitas pasang surut pada air laut sangat erat kaitannya dengan aktivitas ke tiga benda langit tersebut. Beberapa contoh aktivitas tersebut diantaranya yakni revolusi yang terjadi pada bulan terhadap bumi, revolusi yang terjadi pada bumi terhadap matahari dan juga perputaran bumi terhadap sumbu yang dimilikinya[9].

2.4 Bathimetri

Batimetri adalah ilmu pengukuran kedalaman laut yang menghasilkan informasi dan gambaran dasar laut serta petunjuk tentang struktur laut. Survei batimetri adalah kegiatan pemetaan yang menggambarkan konfigurasi dasar laut dalam angka-angka kedalaman dan garis-garis kontur. Sebuah peta batimetri umumnya menampilkan relief lantai atau dataran dengan garis-garis kontur (*contour lines*) yang disebut kontur kedalaman (*depth contours* atau *isobath*). Peta batimetri memvisualisasikan survei batimetri dan menyajikan informasi kedalaman dan posisi dalam format 2D atau 3D.

Awalnya, batimetri mengacu kepada pengukuran kedalaman samudra. Teknik-teknik awal batimetri menggunakan tali berat terukur atau kabel yang diturunkan dari sisi kapal. Keterbatasan utama teknik ini adalah hanya dapat melakukan satu pengukuran dalam satu waktu sehingga dianggap tidak efisien. Teknik tersebut juga menjadi subjek terhadap pergerakan kapal dan arus. batimetri sangat diperlukan untuk pengembangan pelabuhan untuk memperkirakan kedalaman laut sehingga memungkinkan kapal-kapal besar untuk bersandar.

Pada mulanya, pengukuran batimetri dilakukan dengan menurunkan tali atau kabel hingga ke dasar laut dengan menggunakan kapal. Namun, teknik ini hanya mengukur titik kedalaman secara singular dalam satu waktu sehingga kurang efisien. Pada era modern, pengukuran batimetri bisa dilakukan dengan *echosounding* (sonar), yang dipasang di sisi dari suatu kapal kemudian gelombang dipancarkan. Waktu tempuh dari gelombang yang dipancarkan dari permukaan, kemudian dipantulkan oleh dasar laut kemudian diterima kembali di permukaan

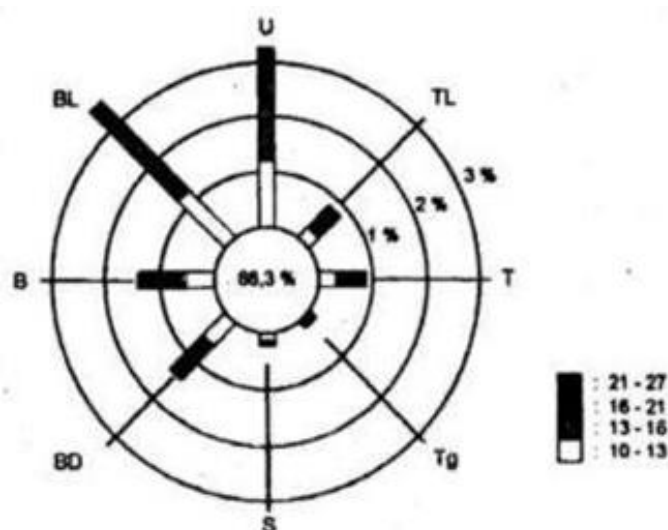
digunakan untuk mengalkulasi kedalaman dari laut yang diukur. Untuk mendapatkan data yang telah tersedia dapat dilakukan secara online dengan mengakses website dari BATNAS.

2.5 Mawar Angin (*Wind Rose*)

Mawar angin (*wind rose*) adalah sebuah metode penggambaran informasi mengenai kecepatan dan arah angin pada suatu lokasi tertentu. Mawar angin digambarkan dalam format melingkar dengan skema frekuensi angin yang berhembus dari arah tertentu. Panjang setiap mahkota menunjukkan tingkat frekuensi berhembusnya angin dari arah tersebut, bernilai nol di pusat mawar.

Wind Rose adalah sebuah grafik yang memberikan gambaran tentang bagaimana arah dan kecepatan angin terdistribusikan di sebuah lokasi dalam periode tertentu. Wind rose merupakan representasi yang sangat bermanfaat karena dengan jumlah data yang sangat banyak namun dapat di ringkas dalam bentuk diagram. Cara untuk menampilkan data angin bervariasi, beberapa penyajian menunjukkan kelebihan dari pada yang lain.

Dalam penelitian ini mawar angin (*wind rose*) digunakan untuk mengidentifikasi arah angin dominan dalam menentukan arah tinggi gelombang yang dihasilkan pada modul *wave*. Dan digunakan juga dalam penentuan letak pelindung pantai seperti *breakwater* agar dapat menahan gelombang dari arah yang paling dominan. Mawar angina diolah menggunakan perangkat lunak seperti *WRPlot View*.



Gambar 2. 1 Mawar Angin (*Wind Rose*)

2.6 Gelombang

Gelombang adalah perambatan yang bersumber dari gangguan pada suatu medium. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena gempa di laut atau letusan gunung berapi di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Suatu gelombang yang menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk atau deformasi gelombang. Perubahan bentuk gelombang ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti refraksi gelombang, refleksi gelombang, difraksi gelombang, serta gelombang pecah. Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang.

Berdasarkan kedalaman relatifnya, yaitu perbandingan antara kedalaman laut (d) dan panjang gelombang (L). Maka gelombang diklasifikasikan menjadi tiga [7] yaitu:

1. Gelombang dilaut dangkal (*shallow water*), hanya dipengaruhi oleh kedalaman sehingga mempunyai parameter panjang gelombang (L) dan cepat rambat gelombang (c).

$$C = \sqrt{gh}$$

$$L = \sqrt{gh}$$

2. Gelombang dilaut transisi (*transitional water*), mempunyai parameter gelombang yang dapat dihitung dengan rumus dibawah:

$$C = \frac{gt}{2\pi} \tan kh$$

$$C = \frac{gT^2}{2\pi} \tan kh$$

3. Gelombang dilaut dalam (*deep water*), seperti panjang gelombang dan kecepatan gelombang, dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

atau

$$L_0 = 1,56 T^2$$

Untuk kecepatan gelombang dilaut dalam,

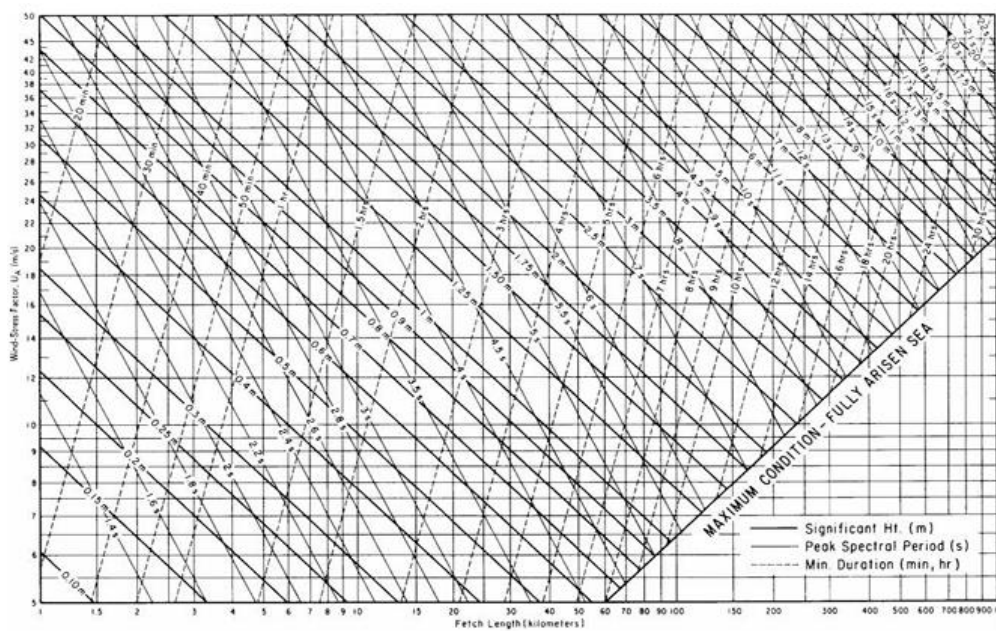
$$C_0 = \frac{gT}{2\pi}$$

atau

$$C_0 = 1,56$$

Parameter gelombang dilaut dalam biasanya disimbolkan dengan subcipt (0) di bawah simbolnya (L_0 atau C_0 atau H_0). Pengukuran gelombang secara langsung umumnya jarang dilakukan mengingat kesulitan dan biaya yang sangat besar, selain itu pengukuan yang dilakukan hanya dalam waktu pendek kurang bisa mewakili gelombang yang ada di lapangan. Oleh karena itu, biasanya digunakan data sekunder, yaitu data angin yang kemudian diolah untuk mendapatkan peramalan data gelombang [7].

Peramalan gelombang berdasarkan kecepatan angin, lama angin dan fetch berhembus, akan dilakukan peramalan gelombang dengan menggunakan grafik peramalan gelombang seperti gambar dibawah ini yang mana dari grafik tersebut panjang fetch (F), factor tegangan angin (U_a), dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.



Gambar 2. 2 Grafik Peramalan Gelombang

2.7 Transformasi Gelombang

Gelombang laut mengalami transformasi ketika bergerak dari laut dalam menuju pantai, yang mengakibatkan perubahan karakteristik gelombang. Proses transformasi gelombang meliputi refraksi, refleksi, difraksi, shoaling, dan gelombang pecah.

2.7.1 Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah bentuk deformasi gelombang yang paling ekstrim. Pada saat suatu gelombang pecah, energi gelombang akan sekaligus terlepas. Energi gelombang akan membangkitkan arus dan mempengaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai (*cross-shore*) dan sejajar pantai (*longshore*). Gelombang pecah juga dipengaruhi oleh kemiringan, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah. [7].

Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang. Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dalam persamaan berikut:

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H_b}{L_0}\right)^{1/3}}$$

Dimana :

H_b = Tinggi gelombang pecah

H'_0 = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen

L_0 = Panjang gelombang dilaut dalam

Parameter $\frac{H_b}{H'_0}$ disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah.

Adapun kedalaman air dimana gelombang pecah terjadi diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)}$$

Dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut:

$$a = 43,57 (1 - e^{-19m})$$

$$b = \frac{1,56}{(1 - e^{-19m})}$$

Dimana :

d_b = Kedalaman air pada saat gelombang pecah

m = Kemiringan dasar laut

g = Percepatan gravitasi

T = Periode gelombang

2.8 Sedimentasi

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi lainnya. Sedimen umumnya mengendap dibagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, disaluran air, sungai, dan waduk. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Proses erosi terdiri atas tiga bagian yaitu, pengelupasan (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation*)[10]. Sedimentasi adalah peristiwa pengendapan material batuan yang telah diangkut oleh tenaga air atau angin. Pada saat pengikisan terjadi, air membawa batuan mengalir ke sungai, danau, dan akhirnya sampai di laut. Pada saat kekuatan pengangkutannya berkurang atau habis, batuan diendapkan di daerah aliran air.

Klasifikasi Ukuran Butir Sedimen dalam skala Wentworth terbagi menjadi beberapa partikel yakni mulai dari pasir, partikel sangat kecil seperti lumpur dan tanah liat serta kerikil. Seperti yang disajikan pada tabel berdasarkan ukuran butir sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen dalam Skala Wentwort

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		mm	Satuan Phi
Batu		256	-8
Cobble		128	-7
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat Kecil	8	-3
Kerikil		4	-2
Pasir	Sangat Kasar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0,5	1
	Halus	0,25	2
	Sangat Halus	0,125	3
Lumpur	Kasar	0,063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6
	Sangat Halus	0,0075	7
Lempung	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat Halus	0,0005	11
		0,0003	12

Sumber : (Triadmojo, Teknik Pantai (Beta Offse),1999)

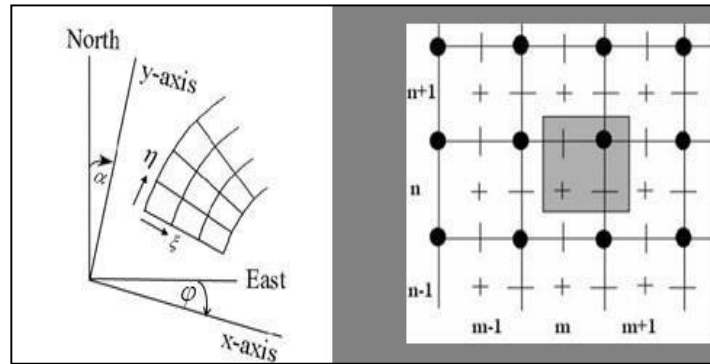
2.9 Software Delft3D

Delft3D adalah salah satu software yang dikembangkan oleh delft3d sebagai suite perangkat lunak komputer terpadu yang unik untuk Multi-Disiplin. Delft3D merupakan sebuah perangkat lunak dipergunakan untuk melakukan pemodelan tiga dimensi di wilayah pesisir, sungai dan juga muara. Pada proses pemodelannya, Delft3D akan mensimulasikan area tertentu seperti aliran, aliran

sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan ekologi dan morfologi. Delft3D dapat menautkan modul yang nantinya dapat digunakan untuk bertukar hasil dengan data-data yang diperlukan guna memverifikasi model menggunakan formulasi yang sesuai dengan modul saat proses *running* tengah berlangsung[11].

Pemodelan ini bertujuan untuk mengetahui tinggi gelombang di pantai Tanjung Burung, pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software Delft3D*. Pesisir merupakan zona peralihan antara daratan dan lautan, dimana sisi laut masih dipengaruhi oleh aktivitas darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, dan sisi darat masih dipengaruhi oleh aktivitas laut seperti pasang surut, angin laut, dan infiltrasi air asin. Pesisir merupakan zona peralihan antara daratan dan lautan, dimana sisi laut masih dipengaruhi oleh aktivitas darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar, dan sisi darat masih dipengaruhi oleh aktivitas laut seperti pasang surut, angin laut, dan infiltrasi air asin. *Delft3D* juga memperhitungkan masukan dari sungai dan sumber titik lainnya. Model ini digunakan sebagai input untuk parameter fisik air dan memberikan distribusi 3D sebagai output, kemudian hasil model *Delft3D-Flow* menjadi dasar perhitungan proses hidrodinamika menggunakan model kualitas air.

1. *Delft3D-FLOW*, digunakan untuk memodelkan secara numerik terkait kondisi hidrodinamika seperti contohnya salinitas, temperature, aktivitas transport sedimen dan juga perubahan morfologi dasar yang terjadi di wilayah pantai. *Delft3D-Flow* juga digunakan untuk menghitung SWE (Shallow Water Equation) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk dua atau tiga dimensi pada sebuah grid atau garis bantu[12]. Grid adalah garis bantu koordinat arah vertikal dan horizontal untuk menentukan luas daerah yang dimodelkan atau untuk mengatur batas daerah yang dihitung. Grid terdiri dari dua sistem yaitu *coordinate cartesian* berbentuk persegi dan *coordinate spherical*.



Gambar 2. 3 Sistem koordinat *spherical* dan *system*

Sistem *coordinate cartesian* berbentuk persegi, bersifat kaku dan hanya mempunyai parameter arah saja, yaitu arah vertikal (η) dan arah horizontal (ξ). Sedangkan sistem *coordinate spherical* mengikuti garis kontur permukaan bumi. Coordinate spherical memiliki dua parameter yaitu arah dan tinggi, dengan latitude (θ) bernilai positif ke arah utara dan longitude (ϕ) yang bernilai positif ke arah timur.

Delft3d ini dibagi menjadi tujuh bagian yang memiliki fungsi sebagai berikut :

- Delft 3D-RGFGRID, Membuat zona segmen dalam bentuk grid pada topografi.
- Delft 3D-QUICKIN, Masukan output pada grid berupa data batimetri, kondisi awal untuk water level, salinitas dan lain-lain.
- Delft 3D-TRIANA, Analisis pasang surut dalam interval waktu.
- Delft 3D-TIDE, Analisis pasang surut terhadap water level dan kecepatan.
- Delft 3D-NESTHD, Membuat batasan dari keseluruhan model.
- Delft 3D-GPP, Menampilkan hasil simulasi berupa gambar animasi dan visualisasi.
- Delft 3D-QUICKPLOT, sama halnya dengan Delft3D-GPP

Formulasi persamaan pembangun pada Delft3D-FLOW dapat dilihat dibawah ini yang merupakan persamaan momentum dan persamaan kontinuitas:[13].

- Persamaan momentum dalam arah horizontal

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta}}{\sqrt{G\zeta} \sqrt{G\eta}} +$$

$$\frac{uv\sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta}\sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho_0\sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d+\zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv\sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta}\sqrt{G\eta\eta}} +$$

$$\frac{v^2\sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta}\sqrt{G\eta\eta}} - Fv = \frac{1}{\rho_0\sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d+\zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta$$

➤ Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1\partial[(d+\zeta)U\sqrt{G\eta\eta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta}\sqrt{G\eta\eta} \partial \zeta} + \frac{1\partial[(d+\zeta)V\sqrt{G\zeta\zeta}]}{\sqrt{G\zeta\zeta}\sqrt{G\eta\eta} \partial \eta} = (d + \zeta)Q$$

Dengan U dan V dirata-ratakan terhadap kedalaman

$$U = \frac{1}{d+\zeta} \int_4^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma$$

$$V = \frac{1}{d+\zeta} \int_4^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma$$

Dengan Q menunjukkan factor per unit area:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E$$

Dimana :

$\sqrt{G\zeta\zeta}$ = Koefisien transformasi curvalinier menjadi koordinat persegi [m]

$\sqrt{G\eta\eta}$ = Koefisien transformasi curvalinier menjadi koordinat persegi [m]

G = Percepatan gravitasi [m/s^2]

$M\zeta$ = Sumber/keluaran momentum dalam arah x/ζ [kg m/s]

$M\eta$ = Sumber/keluaran momentum dalam arah y/η [kg m/s]

U = Kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah x/ζ [m/s]

u = Kecepatan aliran dalam tanah x/ζ [m/s]

V = Kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah y/η [m/s]

ω = Frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen fourier

ζ = Elevasi muka air [m]

2. *Delft3D-WAVE*, adalah sistem bagian dari *Delft3D* yang berfungsi untuk mensimulasikan perambatan gelombang yang dihasilkan di perairan pantai. *Delft3D Wave* juga dapat diterapkan di perairan dalam, menengah, dan dangkal. *Wave-GUI (Graphical User Interface)* alat yang digunakan untuk mengimpor nama atribut file ke MDW-file. MDW-file adalah input file

untuk simulasi gelombang. MDW-file ini berisi semua data yang diperlukan untuk pemodelan gelombang dan menjalankan perhitungan gelombang.

Persamaan yang digunakan untuk menentukan periode energi gelombang (T_e) dan tinggi gelombang signifikan (H_s) adalah sebagai berikut

$$T_e = 2\pi \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \omega^{-1} E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} E(\omega, \theta) d\omega d\theta}$$

$$H_s = 4 \sqrt{\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} E(\omega, \theta) d\omega d\theta}$$

Persamaan yang mengatur model Delft3D-WAVE adalah persamaan kesetimbangan spektral gelombang:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

Dimana :

- T_e = Periode energi gelombang (s)
- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- $E(\omega, \theta)$ = Massa jenis (kg/m³)
- $N(\sigma, \theta)$ = Density spektrum (kg/m³)
- S = Disipasi energi gelombang (Watt)
- $C(x, y, \theta, \sigma)$ = Velocity (m/s)

2.10 Pelindung Pantai

Pelindung pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yakni untuk memperkuat dan melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang, mengubah laju transport sedimen sepanjang pantai serta mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai. Untuk mengatasi masalah ini diperlukan metode pelindung pantai yang efektif dan berkelanjutan. Dua metode yang umum digunakan adalah *breakwater* dan vegetasi mangrove.

Breakwater adalah bangunan pantai yang berfungsi sebagai peredam gelombang yang menuju pantai. Breakwater dibedakan menjadi dua tipe bangunan yaitu bangunan pemecah gelombang lepas pantai dan pemecah gelombang sambung pantai. Untuk tipe pertama bangunan pemecah gelombang lepas pantai digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Bangunan ini dapat dibuat dalam satu

rangkaian pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah dengan panjang tertentu. Dan untuk tipe kedua bangunan pemecah gelombang sambung pantai digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal yang merapat di dermaga tidak mengalami gangguan gelombang pada saat melakukan bongkar muat barang dan menaik turunkan penumpang. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa keberadaan *breakwater* mampu secara signifikan mengurangi dampak abrasi pantai dengan cara meredam energi gelombang dan mendorong akumulasi sedimen di area belakang struktur tersebut. Penggunaan *breakwater* terbukti mampu meredam energi gelombang laut, menurunkan tingkat erosi, serta mendukung proses sedimentasi di belakang struktur. Hasil tinjauan tersebut menunjukkan bahwa penerapan *breakwater* relevan untuk lokasi dengan tingkat abrasi tinggi dan gelombang dominan[14]. Salah satu contoh nyata adalah penerapan *breakwater* di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, yang telah terbukti berhasil menurunkan tingkat erosi dan meningkatkan akumulasi sedimen di wilayah tersebut. Analisis citra satelit Landsat 7 dan 8 (2010–2017) memperlihatkan adanya perubahan garis pantai akibat sedimentasi yang terbentuk di balik struktur *breakwater*[15].

Vegetasi mangrove merupakan solusi berbasis alam yang berperan dalam meredam gelombang serta menahan sedimen garis pantai tetap stabil. Vegetasi mangrove juga berfungsi sebagai habitat alami bagi berbagai biota laut, meningkatkan keanekaragaman hayati, serta berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir. Selain itu, akar mangrove yang kuat mampu menahan tanah dan mencegah abrasi, sementara kanopi dan batangnya dapat menyerap energi gelombang dan angin kencang. Tidak hanya struktur keras seperti *breakwater* yang efektif dalam mengurangi abrasi pantai, tetapi juga vegetasi alami seperti mangrove terbukti mampu meredam energi gelombang dan memperlambat laju erosi secara signifikan. Vegetasi mangrove memiliki kemampuan signifikan dalam meredam energi gelombang, terutama pada wilayah pesisir yang rentan terhadap abrasi. Efektivitas mangrove dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lebar kawasan hutan, diameter batang pohon, serta kerapatan vegetasi[16].

Pemodelan numerik menggunakan Delft3D memungkinkan analisis lebih mendalam mengenai efektivitas kedua metode ini dalam mengurangi erosi dan mempertahankan kestabilan pantai.

2.11 Penelitian Terdahulu

Sebelum melakukan penelitian tentang “Penentuan Letak Bangunan Pelindung Pantai (Breakwater) Di Pantai Tanjung Burung Kelurahan Tanjung Kecamatan Mempawah” penulis mengkaji beberapa jurnal sebagai acuan dan bahan referensi penelitian.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Judul	Hasil
1	Diyan Muhammad Ramdani, Dwi Haryo Ismunarti, Sugeng Widada	2014	Analisis Refraksi Gelombang Laut Berdasarkan Model CMS- Wave Di Pantai Keling Kabupaten Jepara.	Dari hasil simulasi model terlihat bahwa arah penjalaran gelombang menuju pantai akan mengalami proses refraksi. Proses refraksi gelombang dapat dilihat pada skenario musim barat proses refraksi dimulai pada kedalaman 8 m. Pada skenario musim peralihan 1 proses refraksi dimulai pada kedalaman 4 m. Pada skenario musim peralihan proses refraksi dimulai pada kedalaman 4m terus berbeluk hingga tegak lurus dengan pantai.
2	Fitri Suciaty, Hasan Murtadho	2020	Karakteristik Gelombang Laut pada Rencana Pembangunan Breakwater di	Dari hasil pemodelan kecepatan arus yang besar (>0.7 m/s) dan bergerak sejajar pantai pada bagian barat pantai Glagah dapat

			Pelabuhan Tanjung Adikarto	menyebabkan erosi pada area tersebut. Tinggi gelombang disekitar kepala breakwater sebesar ± 1.5 m dimusim timur dan ± 1.8 m.
3	Ismail Ali Hajar Aswad, Haryo Dwito Armono, Shade Rahmawati, Asfarur Ridlwani dan Rizki Mendung Ariefianto	2021	Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Kajian Energi Gelombang Laut di Perairan Barat Provinsi Lampung	Hasil dari pemodelan numerik diperoleh tinggi gelombang signifikan terbesar terjadi pada Msuim Barat dengan nilai berkisar 1.25-2.975 m. sedangkan tinggi gelombang signifikan terkecil terjadi pada Musim Timur dengan nilai sebesar 0.941-2.079 m.
4	Annisak Laila Rakhmawati	2019	Pemodelan Morfologi Pantai Dengan Delft3D Akibat Perencanaan Jetty Di Muara Rejoso	Hasil penelitian adalah jetty mampu menurunkan besarnya arus di muara sebesar 94,05% dari total keseluruhan hasil analisis di titik monitoring A dengan besarnya reduksi arus akibat adanya jetty adalah sebesar 0,299 m/detik. Sementara di titik B adalah 86,91% dengan besarnya reduksi arus sebesar 0,169 m/detik. Untuk di titik monitoring C mampu mengurangi besarnya arus sebesar 91,67% kejadian

				<p>dengan besarnya reduksi arus adalah sebesar 0,033 m/detik. Selain itu, pada ketiga titik monitoring terjadi penurunan besarnya sedimentasi setelah dibangun jetty di Muara Rejoso. Penurunan sedimentasi terbesar terjadi pada titik monitoring A, yaitu di sebelah timur muara sebesar 91,37% dari total data simulasi</p>
5	Khoirun Nisa Novitasari	2023	Analisis Perubahan Morfologi Pantai Boom Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur	<p>Hasil penelitian menjelaskan bahwa simulasi perubahan morfologi dasar perairan yang terjadi di sekitar wilayah pesisir Pantai Boom Banyuwangi yang menggunakan faktor skala morfologi 60 (10 tahun) terlihat terjadi erosi pada setiap cross section. Rata – rata kondisi morfologi dasar perairan saat kondisi awal (musim barat) yakni sebesar - 11.967 m. Sementara itu, rata – rata kondisi morfologi dasar perairan saat kondisi akhir (musim timur) yakni sebesar - 12.510. Hal ini membuktikan adanya penambahan kedalaman pada dasar perairan Pantai Boom Banyuwangi.</p>

6	Winda Amalia Herdianti	2018	Pemodelan Sedimentasi Untuk Perencanaan Kawasan Pantai Timur Surabaya	<p>Hasil penelitian ini diperoleh perubahan morfologi di Pantai Timur Surabaya sesuai dengan hasil permodelan dan citra satelit tahun 2010-2018 didominasi oleh sedimentasi. Terdapat sedimentasi yang cukup luas dan signifikan di kawasan Kenjeran, Kalisari dan Gunung Anyar. Hal ini dikarenakan pada daerah tersebut terdapat sumber sedimen dari mulut sungai, estuari dan saluran drainase. Pada kawasan lindung yang direncanakan sebagai hutan bakau yang terintegrasi dengan rawa dan tambak dengan ketebalan hutan bakau minimal 355 meter, namun kenyataannya ketebalan hutan bakau di banyak daerah belum mencapai ketebalan 355 meter. Maka dari itu, disarankan agar pemerintah dapat membatasi kegiatan budidaya disekitar pantai dan reboisasi hutan bakau.</p>
7	Rikan Syarifullah Hasan	2016	Analisis Perubahan Profil Pantai Parangtritis	<p>Hasil penelitian ini adalah perubahan bentuk profil pantai Parangtritis saat kondisi ekstrem adalah terjadinya erosi</p>

			Dengan Menggunakan Software Delft3D	mencapai 0.8 m pada profil pantai dari jarak 0 m hingga 100 m dari garis pantai dikedalamanhinga 10 m, dan erosi rata-rata 2 m pada profil pantai dari jarak 100 m hingga 1600 m dalam kurun waktu 5 tahun. Perubahan bentuk profil pantai saat kondisi tenang adalah terjadinya erosi dengan rata-rata 0.1 m hingga 0.5 m dalam kurun waktu 5 tahun.
8	Mega Septia Sarda Dewi	2019	Perencanaan Bangunan Breakwater Dan Revetment Pelabuhan Perikanan Pt. Mitra Jaya Samudera Kota Bitung	Berdasarkan analisis data angin diperoleh arah angin dominan dari arah Barat Daya. Besar tinggi pasang surut diperoleh nilai HWL = 3,03 m, MSL = 2,19 dan LWS = 1,52 m. Berdasarkan perhitungan analisis gelombang dengan periode ulang 50 tahun diperoleh tinggi gelombang di laut dalam sebesar 2,65 m dengan periode gelombang 5,76 detik dan tinggi gelombang rencana berdasarkan hasil software Delft3D pada bangunan perencanaan sebesar 1,5 m. Gelombang pecah terjadi pada jarak 120 m dari garis pantai dan pada kedalaman 3,516 m.

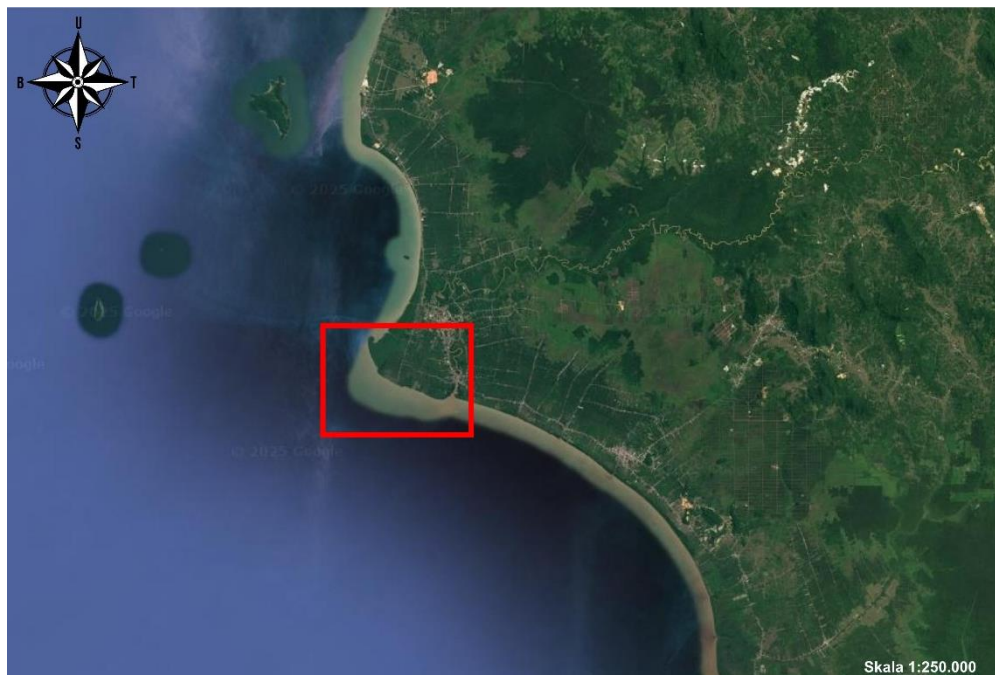
9	Haris Priono	2024	Pemodelan Gelombang Di Wilayah Kuala Karang Dengan Menggunakan <i>Software Delft3D</i>	Hasil penelitian ini adalah ketinggian gelombang maksimum itu berada pada tanggal 15 Juni 2022 pukul 14:00 yang Dimana mencapai ketinggian 1,607 m, dan untuk ketinggian minimum itu berada pada tanggal 01 Juli 2022 pukul 02:00 yang dimana hanya 1,475 m, dan dapat dilihat untuk arah penjalaran gelombang tersebut dominan dari arah Barat Daya. Untuk kategori gelombang pada wilayah Kuala Karang ini bersifat Sedang. Akan tetapi dikarenakannya tidak ada pulau pulau terdekat dan bangunan pemecah gelombang untuk meredam kecepatan gelombang yang menuju wilayah tersebut, maka gelombang yang datang langsung menuju pesisir wilayah tersebut mengakibatkan abrasi yang kuat akibat gelombang yang selalu datang langsung dari laut dalam.
---	--------------	------	--	---

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pantai Tanjung Burung, yang secara administratif terletak di Desa Tanjung, Kecamatan Mempawah Timur, Kabupaten Mempawah, Provinsi Kalimantan Barat. Pantai ini terletak di pesisir barat Pulau Kalimantan, menghadap langsung ke Laut Natuna bagian selatan yang merupakan bagian dari Laut China Selatan. Secara geografis, koordinat wilayah penelitian ini berada pada $0^{\circ}6' - 0^{\circ}8' \text{ LU}$ dan $109^{\circ}10' - 109^{\circ}12' \text{ BT}$. Pantai ini telah mengalami abrasi yang sangat parah dan membuat perubahan garis pantai yang cukup panjang hingga 29,04 m pertahun[6]. Dimana waktu tempuh lokasi ini dapat dijangkau dengan jarak tempuh sekitar ± 70 km atau sekitar 2 jam perjalanan darat dari Pontianak. Selain itu, lokasi ini juga dekat dengan area permukiman dan aktivitas masyarakat pesisir.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.2 Jenis Penelitian

Dalam penelitian ini dapat dikategorikan sebagai jenis penelitian yang bersifat kuantitatif dalam penentuan letak bangunan pelindung pantai yang melibatkan pendekatan sistematis untuk mengukur dan menganalisis data numerik terkait efektivitas dan stabilitas. Tujuan dari penelitian kuantitatif adalah untuk

mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teori-teori dan hipotesis yang berkaitan dengan fenomena alam.

3.3 Data

Berikut adalah data yang diperlukan untuk menentukan letak bangunan pelindung pantai

3.3.1 Jenis Data

Jenis data yang digunakan penulis adalah data sekunder dan data primer. Data sekunder yaitu menurut sugiyono (2018) merupakan data yang diperoleh peneliti atau pengumpul data secara tidak langsung. Dikatakan tidak langsung karena data diperoleh melalui perantara. Data sekunder yang diperlukan oleh penulis antara lain:

- Data batimetri atau peta batimetri digunakan untuk mengetahui bagaimana bentuk kontur atau kedalaman laut di sekitar lokasi penelitian. Peta didapat dari website BATNAS (<https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#batnas>)
- Data prediksi pasang surut lima tahun kebelakang untuk mensimulasi yang dimasukkan sebagai *monitoring observation point* dari Sistem Referensi Geospasial Indonesia (<https://srgi.big.go.id>).
- Data gelombang signifikan dan periode gelombang ECMWF lima tahun kebelakang dari tahun 2020-2024 (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-timeseries?tab=download>)
- Data angin Nasa Power (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) dari tahun 2015 - 2024 untuk membuat *windrose* melihat arah angin dominan.
- Data sedimentasi D50 menggunakan data primer yang di ambil langsung di Pantai Tanjung Burung Mempawah Kalimantan Barat dengan titik koordinat 0,3234N 108,9286E.



Gambar 3. 2 Lokasi Sampel Sedimen

3.3.2 Metode Pengumpulan Data

- ❖ Studi literatur, dalam penelitian ini studi literatur didapatkan dari membaca buku, tugas akhir, serta jurnal-jurnal yang berkaitan. Studi literatur digunakan untuk meningkatkan validitas dan memberikan wawasan kepada penulis.
- ❖ Metode kepustakaan, metode pengumpulan data atau bahan yang didapat dari buku-buku kepustakaan. Tujuan metode ini adalah untuk mencari literatur tidak hanya untuk informasi penelitian kesamaan, untuk memperdalam penelitian teoritis atau untuk menyempurnakan metode, tetapi juga untuk menggunakan sumber pustaka untuk mendapatkan data, bahan penelitian. Data yang didapatkan juga data sekunder.
- ❖ Metode wirelessnet dan website, pengumpulan data melalui internet. Data yang didapatkan juga merupakan data sekunder.

3.4 Metode Analisa Data

Penulis menggunakan metode analisa data diantaranya sebagai berikut:

3.4.1 Menentukan Tinggi dan Periode Gelombang

Data tersebut diperoleh dari website ECMWF dengan tujuan untuk mengetahui tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang. Data di

download dengan format csv. Kemudian dirata-ratakan (Average) untuk mendapatkan nilai gelombang signifikan. Begitu juga dengan periode gelombang. Nilai tinggi gelombang signifikan dan periode puncak yang digunakan dalam simulasi boundary condition adalah nilai rata-rata representatif hasil analisis data ECMWF selama periode 5 tahun (2020-2024).

3.4.2 Pengolahan Data Batimetri

Data tersebut penulis peroleh dari website BATNAS dengan tujuan untuk mengetahui kedalaman disekitar area pencarian. Data kedalaman ini digunakan karena memiliki keunggulan di wilayah pesisir dan perairan dangkal karena berdasarkan penelitian PKLP (Pusat Lingkungan Laut dan Pesisir).

3.4.3 Pengolahan Data Pasang Surut

Data pasang surut dianalisis menggunakan excel untuk mengetahui muka air seperti HWL, MSL, LWS. Data pasang surut ini juga untuk menentukan letak *breakwater*.

3.4.4 Sedimentasi

Data sedimentasi yang digunakan adalah data D50 atau ukuran parameter sedimen yang menyatakan diameter butir sedimen tengah yaitu ukuran butir dimana 50% dari sedimen memiliki ukuran yang lebih kecil dan 50% lainnya lebih besar. Nilai parameter sedimen D50 pada penelitian ini didapatkan pada pengujian *hydrometer*. Sampel diambil langsung dan kemudian diuji di laboratorium mekanika tanah.

3.5 Prosedur Penelitian

Pembuatan model numerik dilakukan untuk mensimulasikan dinamika pantai dan efektifitas pelindung pantai berupa breakwater dan vegetasi mangrove yang tepat untuk Pantai Tanjung Burung. Pada Delft3D-Wave digunakan untuk mensimulasi gelombang mengetahui tinggi, periode, dan arah dominan. Kemudian untuk Delft3D-FLOW memodelkan pola arus dan perubahan elevasi akibat gelombang.

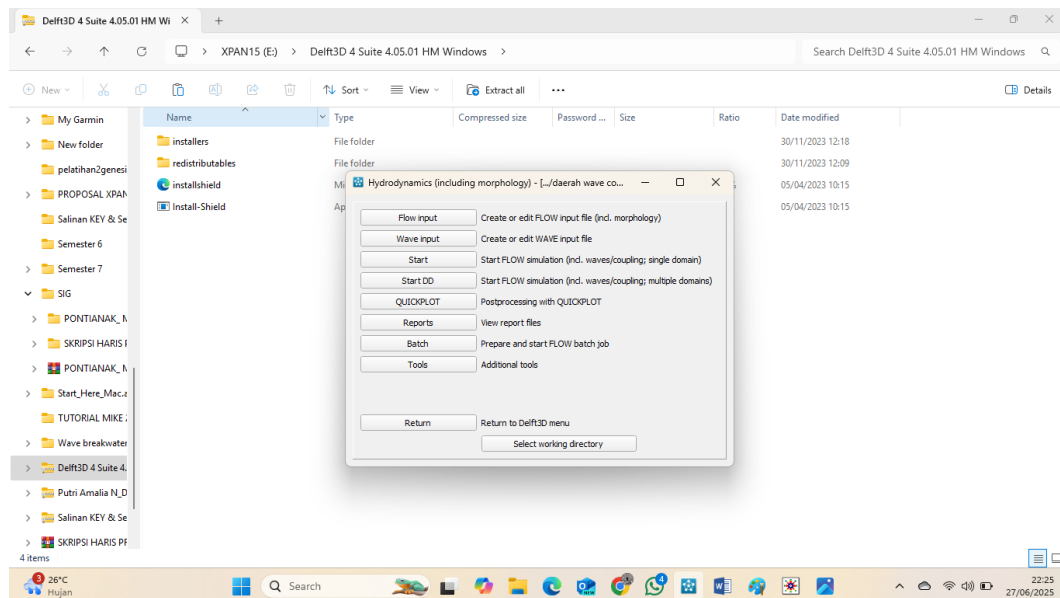
Domain model dibuat dengan grid kemudian disesuaikan dengan topografi. Parameter hidrodinamika yang digunakan dalam model mencakup koefisien gesekan dasar dan kecepatan angin yang berpengaruh terhadap dinamika arus dan transport sedimen. Untuk mengevaluasi efektifitas pelindung pantai, dilakukan

beberapa skenario pemodelan yaitu tanpa perlindungan (kondisi alami), penggunaan *breakwater*, penggunaan vegetasi mangrove. Hasil simulasi dianalisis berdasarkan pola arus, redaman energi gelombang, serta dampak terhadap sedimentasi. Visualisasi model dilakukan menggunakan Delft3D-Quickplot.

Adapun prosedur penelitian dalam menggunakan Delft3D adalah sebagai berikut :

3.5.1 Penginstalan Software Delft3D

1. Instal Delft3D pada komputer dengan sistem operasi Windows dan Linux. Perangkat lunak ini membutuhkan perangkat lunak pendukung seperti MATLAB dan QGIS.
2. Buka website deltaxes di <http://oss.deltares.nl/web/delft3d>.
3. Daftar gratis dengan memilih pojok kanan atas. Lengkapi syarat-syarat pendaftaran.
4. Setelah pendaftaran selesai, tunggu beberapa saat dan akan muncul email berisikan *username* dan lisensi. Download lisensi dan save ditempat yang akan di gunakan.
5. Jika semua sudah selesai, software Delft3d siap digunakan.

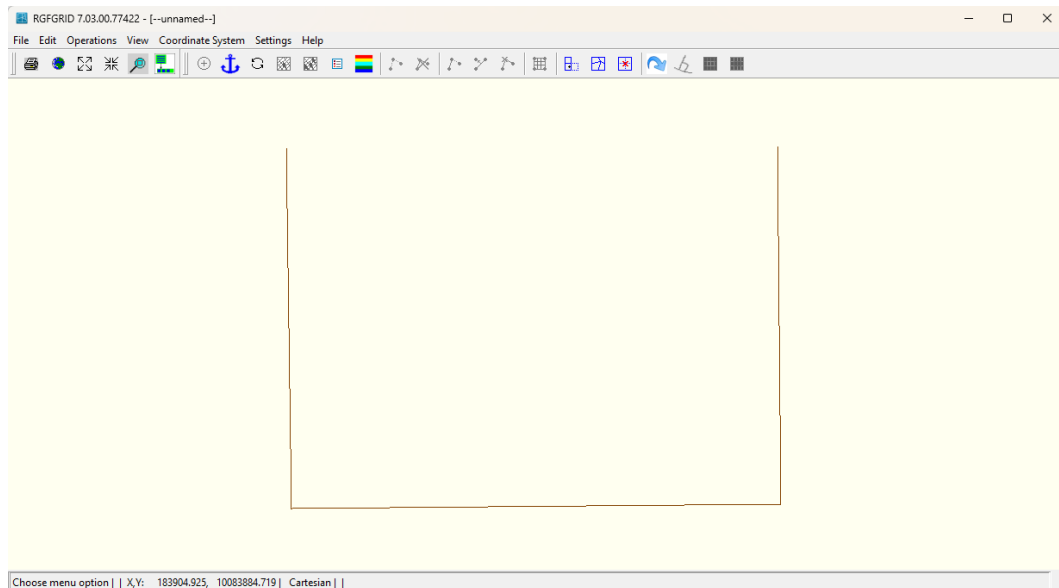


Gambar 3. 3 Software DELFT3D

3.5.2 Pembuatan Grid

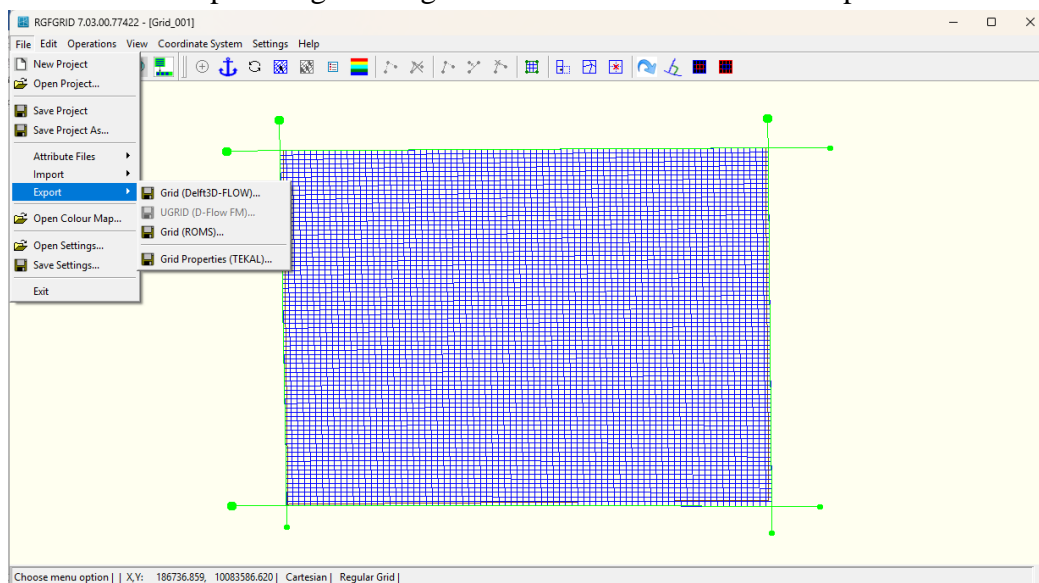
1. Download koordinat daerah yang diteliti pada website Google My Maps atau link ini <https://www.google.com/maps/d/u/0>.

2. Download data batimetri dari website resmi BATNAS atau pada link ini <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/batnas>.
3. Kemudian buat koordinat dalam sistem UTM di Qgis dan input dalam file LDB.
4. Setelah itu input file LDB ke RGFGGRID
5. Buka RGFGGRID di Delft3D, pilih menu file, klik *Attribute File* dan klik *Open Land Boundary*.



Gambar 3. 4 *Land Boundary*

6. Pilih menu edit lalu pilih *Spline* dan mulailah membuat grid dengan ukuran 80x80. Jika mesh sudah selesai, file mesh dan area model disimpan dengan mengklik menu File dan memilih ekspor.

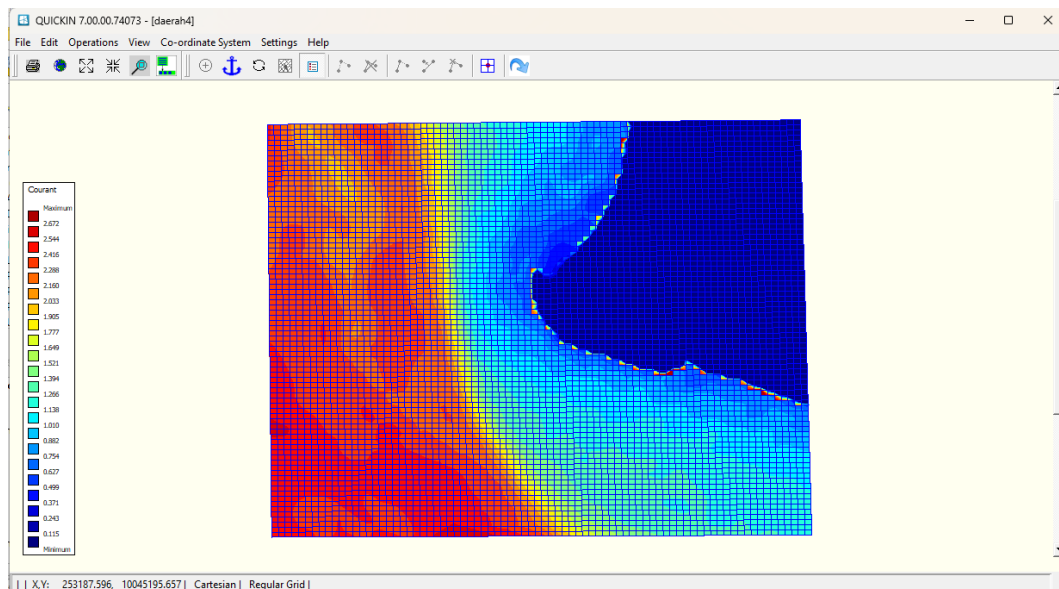


Gambar 3. 5 Pembuatan Grid

7. Setelah pembuatan grid selesai, lanjutkan dengan ekspor grid.

3.5.3 Pembuatan Batimetri

Setelah pembuatan grid selesai, selanjutnya adalah input data kedalaman yaitu dalam hal ini adalah data batimetri. Data batimetri yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Batimetri Nasional (BATNAS) dimana format data .tif harus diubah menjadi .xyz menggunakan QGis setelah konversi data kedalaman dari .tif menjadi .xyz selesai selanjutnya input data batimetri kedalam Quickin. Delft3D-QUICKIN berfungsi untuk memvisualisasikan dan membuat model batimetri pada pemodelan. Pada saat input data selesai maka akan didapat kedalaman dengan nilai positif dan negatif, pada Delft3D kedalaman yang bernilai positif menandakan wilayah perairan sedangkan kedalaman yang bernilai negatif menandakan wilayah daratan.



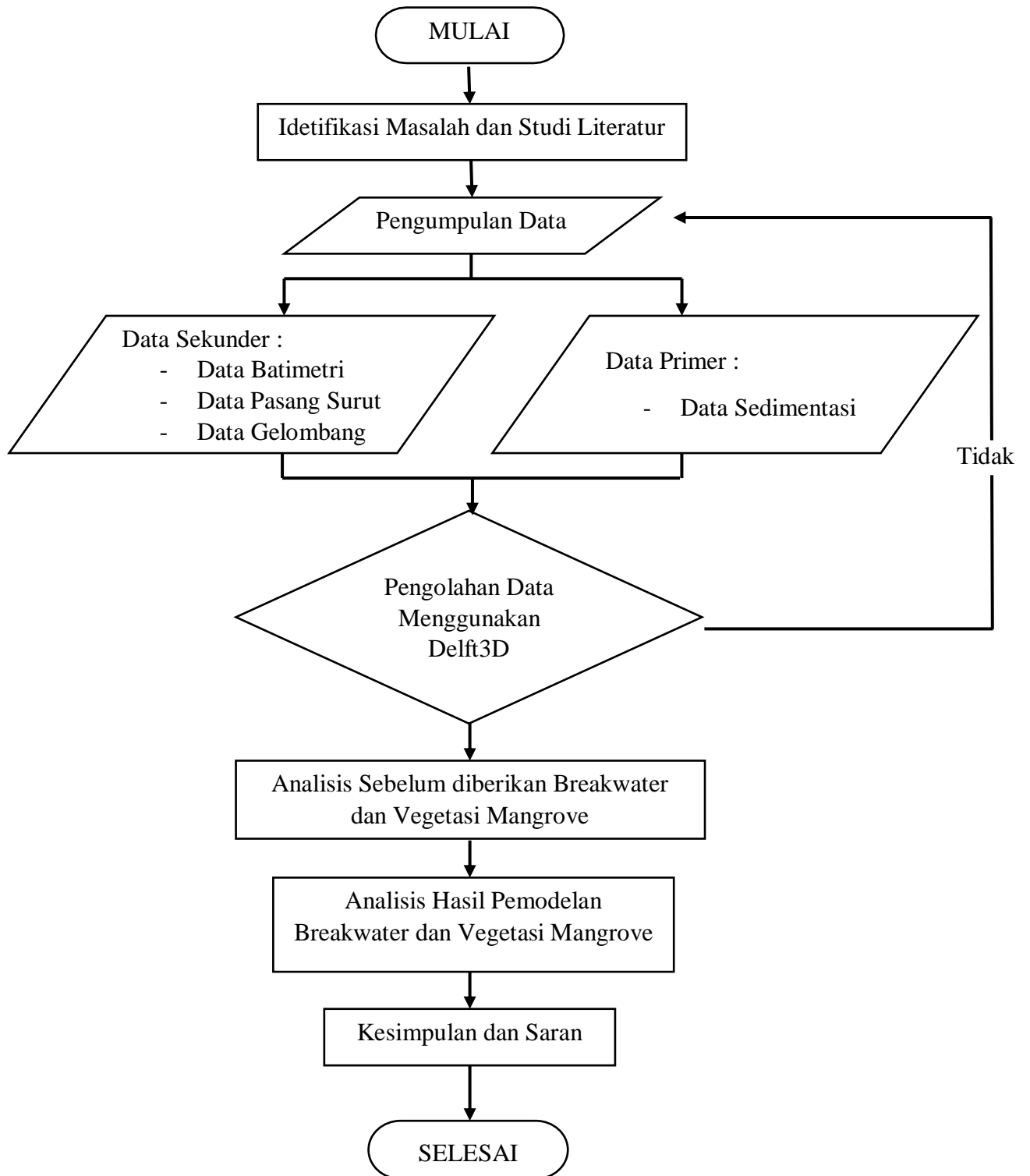
Gambar 3. 6 Batimetri pada *Quickin*

3.5.4 Proses Running

1. Tahap ini semua data sudah disiapkan dan dijadikan satu folder
2. Buka Delft3D *Wave*, masukkan data-data seperti grid dan batimetri, *time frame* HWS, MWL, LWS, *wave conditions*, *physical parameters*, *output parameters*, kemudian *save all* dan *running*.
3. Setelah Delft3D *wave* di *running*, kemudian kita *coupling* dengan Delft3D *Flow*.

4. Buka Delft3D Flow, masukkan runningan *wave* sebelumnya, tambahkan pada *processes sediment* di D50, masukkan *observation point* untuk titik pasang surut, kemudian *save all* dan *running*.
5. Lanjutkan untuk *breakwater* dan vegetasi mangrove.

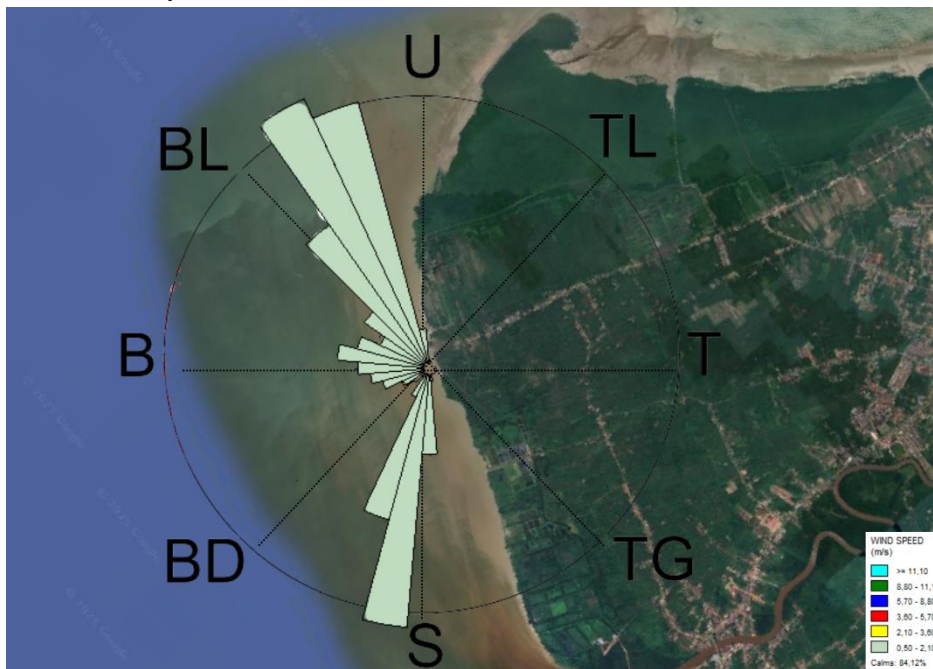
3.6 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Arah Gelombang

Data angin yang digunakan pada penelitian ini didapat dari website ECMWF dari tahun 2020 sampai 2024 dan dengan titik koordinat 0.28347 latitude 108.91432 longitude. Data arah gelombang kemudian dibuatkan *waverose* agar diketahui arah gelombang dominan terdapat area model yang diteliti. Hasil dari *waverose* tersebut menunjukkan bahwa arah gelombang maksimum diangka 2,10 m/s dan kecepatan angin minimumnya adalah 0,50m/s.



Gambar 4. 1 Diagram *Waverose*

Dalam menentukan arah gelombang dominan ini dilakukan dengan melihat hasil diagram *waverose* yang menampilkan arah datangnya gelombang selama periode pengamatan di Pantai Tanjung Burung Mempawah. Diagram *waverose* ini menunjukkan seberapa sering gelombang datang dari arah tertentu, sekaligus seberapa tinggi atau kuat energi gelombangnya. Data yang digunakan bersumber dari ECMWF tahun 2020-2024 sehingga memberikan gambaran kondisi gelombang selama 5 tahun penuh.

DD/MM/YYYY	MWD	MWP	SWH	latitude	longitude
01/01/2020 00:00	338.727	3.99592	0.48762	0.5	109
01/01/2020 01:00	338.266	4.02161	0.47	0.5	109
01/01/2020 02:00	338.886	3.99222	0.45666	0.5	109
01/01/2020 03:00	338.321	3.99833	0.44179	0.5	109
01/01/2020 04:00	337.603	4.02992	0.42651	0.5	109
01/01/2020 05:00	336.855	4.07027	0.41261	0.5	109
01/01/2020 06:00	335.844	4.04001	0.40657	0.5	109
01/01/2020 07:00	335.749	3.988	0.40531	0.5	109
01/01/2020 08:00	335.277	3.95595	0.40506	0.5	109
01/01/2020 09:00	334.823	3.92299	0.40717	0.5	109
01/01/2020 10:00	335.103	3.92033	0.40648	0.5	109
01/01/2020 11:00	335.063	3.91309	0.40673	0.5	109
01/01/2020 12:00	335.04	3.92916	0.40366	0.5	109
01/01/2020 13:00	334.974	3.96537	0.39777	0.5	109
01/01/2020 14:00	334.891	4.00199	0.391	0.5	109
01/01/2020 15:00	334.742	4.04033	0.38339	0.5	109
01/01/2020 16:00	334.524	4.08216	0.37479	0.5	109
01/01/2020 17:00	334.322	4.11897	0.36699	0.5	109
01/01/2020 18:00	334.211	4.14112	0.36104	0.5	109
01/01/2020 19:00	334.22	4.15164	0.35683	0.5	109
01/01/2020 20:00	334.329	4.15455	0.35373	0.5	109
01/01/2020 21:00	334.461	4.14303	0.35267	0.5	109
01/01/2020 22:00	335.251	4.21389	0.34701	0.5	109
01/01/2020 23:00	335.509	4.18204	0.34883	0.5	109

Gambar 4. 2 Data gelombang ECMWV

Dalam menentukan arah barat daya ini didapatkan dari hasil tertinggi gelombang signifikan atau h_s maksimum yang terjadi pada tahun 2021 dengan arah gelombang 238° menunjukkan arah barat daya. Berbeda dengan arah barat yang diambil dari rata-rata (median) atau nilai tengah dari arah gelombang. Arah barat laut dipilih karena memiliki arah gelombang tertinggi setiap tahunnya.

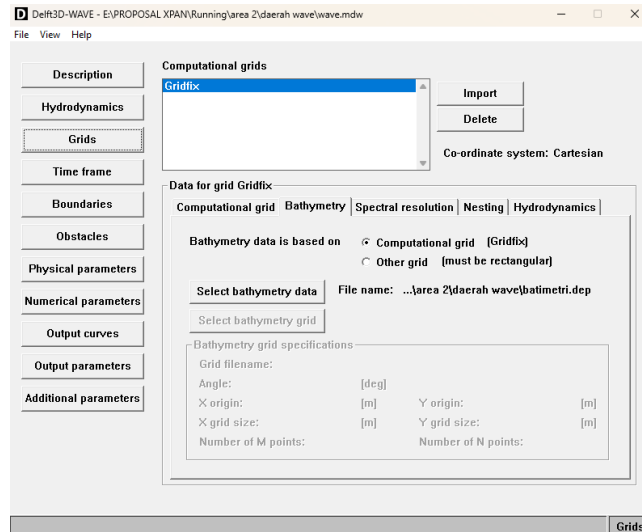
Dari hasil pengolahan data arah gelombang maka di dapatkan *waverose* yang menunjukkan 3 arah mata angin dominan yaitu pada arah Barat Daya, Barat, dan Barat Laut karena ketiga arah tersebut merupakan sumber utama datangnya gelombang laut ke Pantai Tanjung Burung. Sedangkan dari arah lain seperti Timur, Timur Laut, Tenggara dan Selatan merupakan bagian yang berbatasan langsung dengan daratan.

4.2 Input Data

4.2.1. Wave

4.2.1.1 Grids

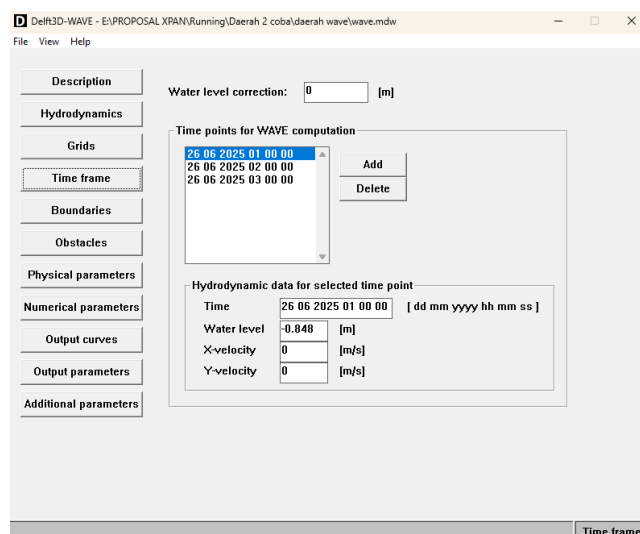
Grids pada inputan Delft3D-WAVE adalah sistem koordinat yang memetakan wilayah simulasi gelombang. Pada *toolbar grids* ini menginput data grid dan batimetri yang telah dibuat sebelumnya.



Gambar 4. 3 Penginputan data grid dan batimetri

4.2.1.2 Time Frame

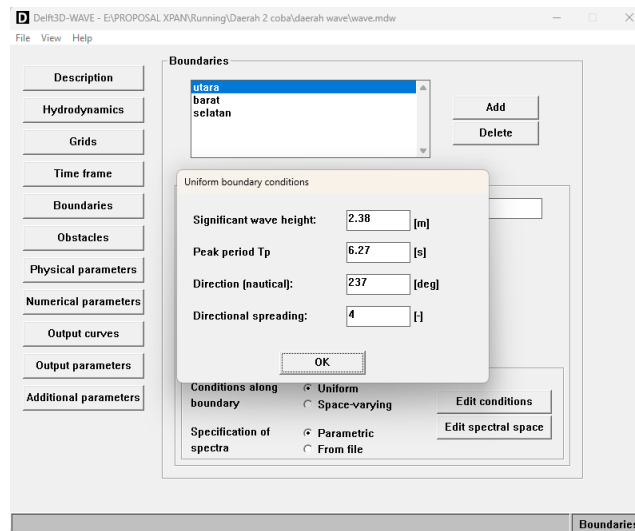
Time frame adalah rentang waktu simulasi yang ditetapkan untuk memodelkan kondisi gelombang di area penelitian. Dan menginput data tinggi pasang surut (HWS, MSL, LWS) yang mana nilai HWS = 0.986 meter, MSL = -0.0017 meter, LWS = -0.848 meter seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 4 Data input Pasang Surut

4.2.1.3 Boundaries

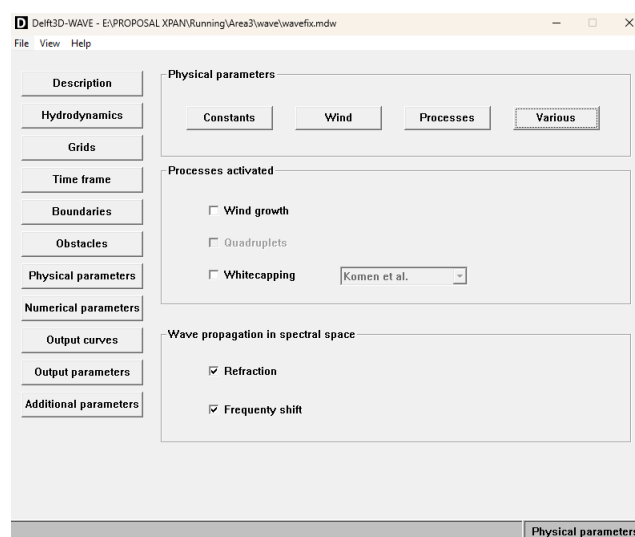
Data group *boundaries* merupakan batasan-batasan yang sudah ditetapkan sebagai wilayah pemodelan. Pada *boundaries* ini menginput 3 arah mata angin serta menginput data gelombang signifikan = 2.38 meter, periode gelombang = 6.27 s dan sudut arah angin = 237°.



Gambar 4. 5 Data Input Gelombang

4.2.1.4 Physical parameters

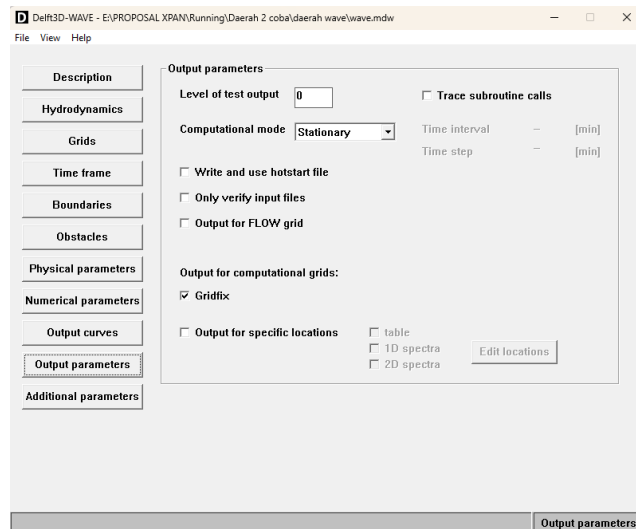
Physical parameters merupakan parameter fisik yang berkaitan dengan kondisi area pemodelan. Parameter tersebut terdiri dari *Constans*, *Wind*, *Processes*, dan *Various*. Pada *physical* parameter ini hanya perlu nonaktif centang pada *Whitecapping* di *Various*.



Gambar 4. 6 Nonaktifkan Whitecapping

4.2.1.5 Output parameters

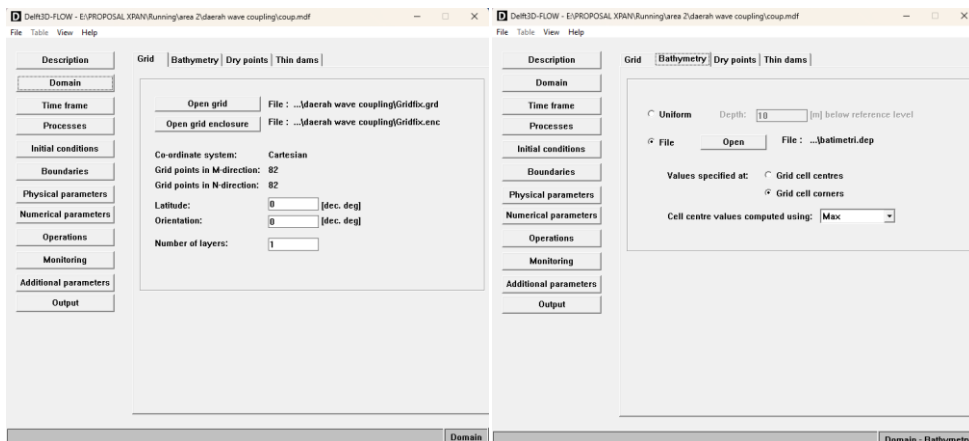
Output parameters ini adalah hasil perhitungan model yang menunjukkan data yang telah diinput. *Output* ini harus mencentang *grids* yang telah dibuat.



Gambar 4. 7 Aktifkan *Grids*

4.2.2. Wave Flow (Alami)

Sama seperti *wave* yang harus menginput data *grids* dan batimetri yang telah dibuat sebelumnya pada *toolbar domain flow*.



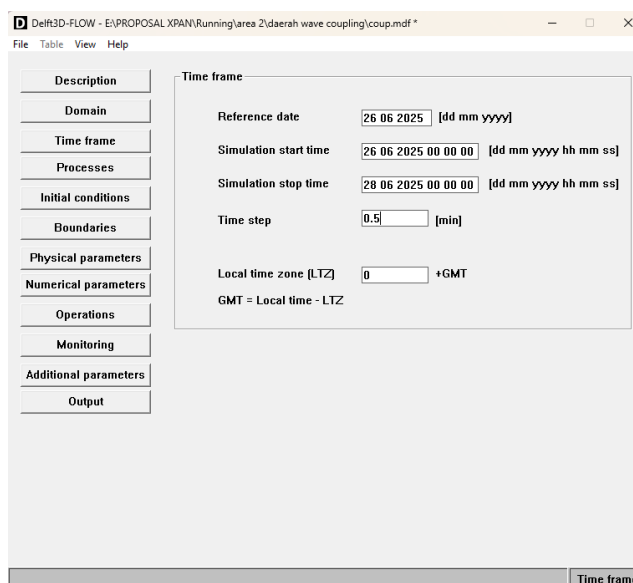
Gambar 4. 8 *Toolbar Domain*

4.2.2.1. Time Frame

Time frame merupakan waktu pemodelan yang merekam setiap *propagation* yang terjadi setiap interval waktu. Sub -data dari *time frame* yang digunakan adalah *FLOW time point*. Pada pemodelan ini, dilakukan selama 2 hari dikarenakan keterbatasan pada performa laptop dengan

memilih waktu yang singkat. Pada *toolbar* berisikan tanggal dan waktu awalnya pemodelan. Sub-data *time frame* terdiri dari:

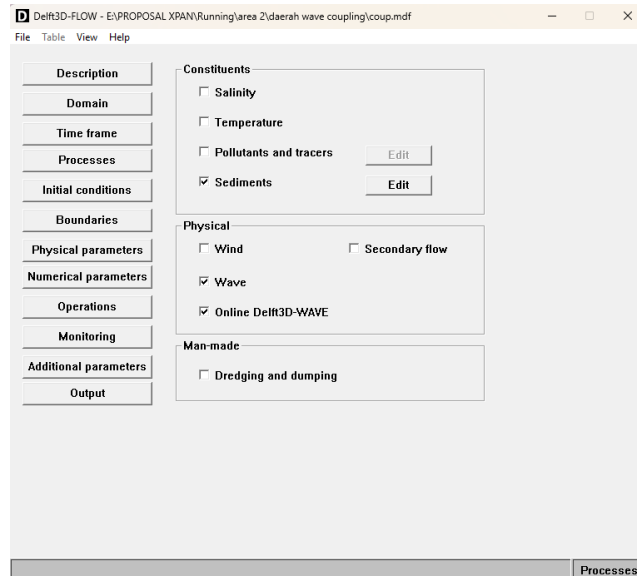
- a. *References date* adalah sub-data yang mengenai tanggal simulasi.
- b. *Simulation start time* adalah sub-data mengenai tanggal dan waktu mulainya pemodelan.
- c. *Simulation stop time* adalah sub-data mengenai tanggal dan waktu berhentinya pemodelan.
- d. *Time step* adalah sub-data mengenai interval waktu yang diminta untuk menghasilkan *output* data hasil perhitungan.



Gambar 4. 9 *Toolbar Time Frame*

4.2.2.2. *Processes*

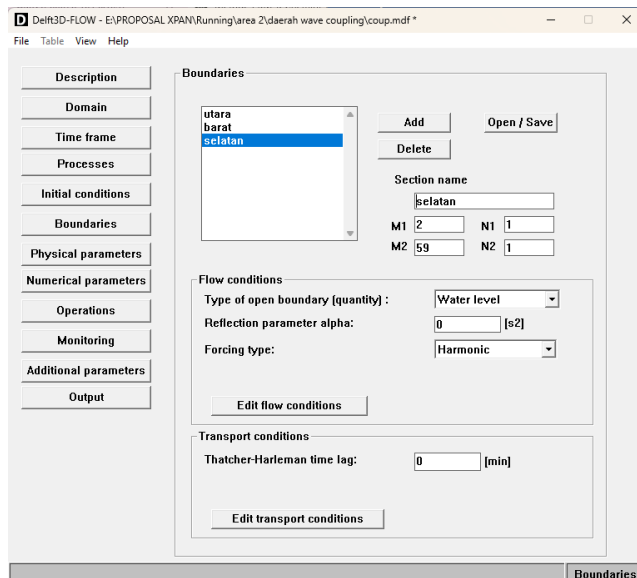
Dalam data *processes* merupakan sub menu yang berisi tentang tambahan data apa saja yang ingin digunakan dalam proses pemodelan. Parameter ini terdiri dari *constituens*, *physical* dan *man-made* seperti pada gambar dibawah. Dimana *constituens* terdiri dari *Temperature*, *salinity*, *pollutans and tracers*, *sediments*. Sedangkan *physical* terdiri dari *wind*, *wave*, *online Delft3D-Wave*, *secondary flow*, dan *tidal forces*. *Man-made* hanya *dredging and dumping*.



Gambar 4. 10 *Toolbar Processes*

4.2.2.3. *Boundaries*

Data group *boundaries* merupakan batasan-batasan yang sudah ditetapkan sebagai wilayah pemodelan. Dalam *boundaries* terdapat 3 parameter yaitu *boundary definitions*, *flow condition* dan *transport condition*. *Toolbar boundaries* dapat dilihat pada gambar dibawah.



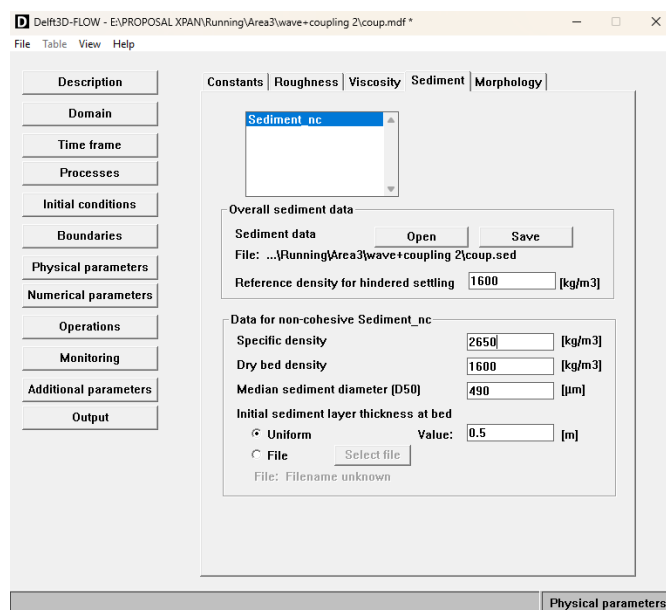
Gambar 4. 11 *Toolbar Boundaries*

Data grup *boundaries* adalah batasan yang ditetapkan untuk suatu wilayah pemodelan. *Boundaries* mempunyai parameter-parameter yang berhubungan dengan pemodelan. Parameter tersebut *boundaries conditions*

yang menginput wilayah batasan, *flow conditions* menggunakan *forcing type harmonic*.

4.2.2.4. *Physical parameters*

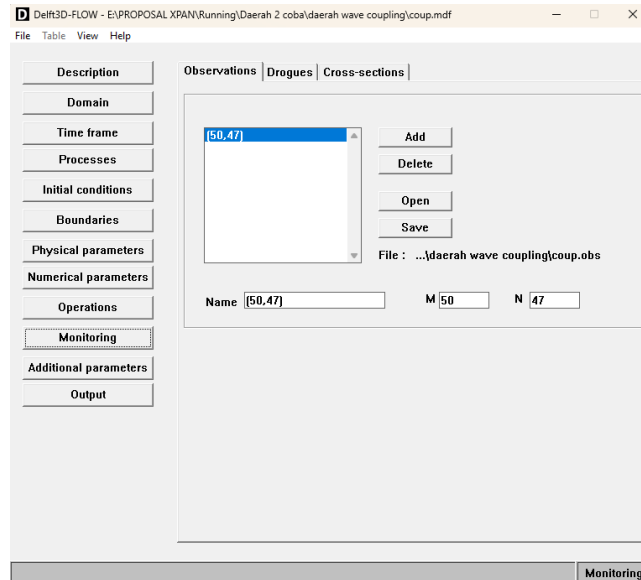
Physical parameters merupakan parameter fisik yang berkaitan dengan kondisi area pemodelan. Parameter ini hanya menginput data sedimen yaitu *median sediment diameter* atau nilai D50. Nilai D50 didapatkan dari pengujian laboratorium mekanika tanah yaitu 0,0049 mm.



Gambar 4. 12 *Toolbar Physical Parameters*

4.2.2.5. *Monitoring*

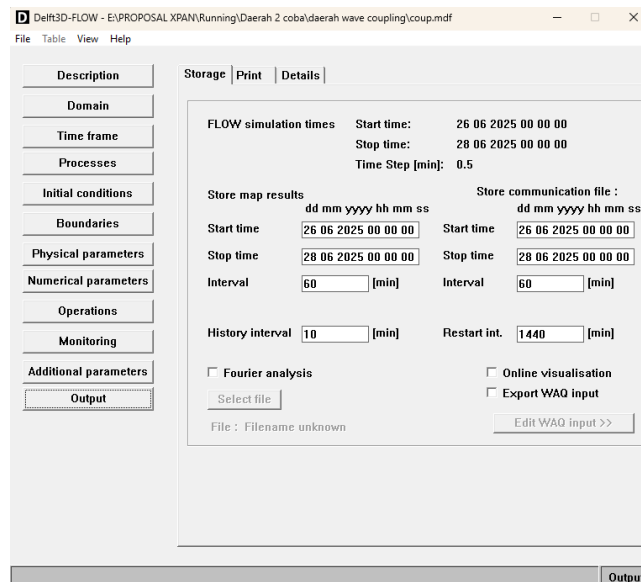
Pada data grup *monitoring* berisi *observation point*, *drogues*, dan *cross-section*. Dalam pemodelan ini hanya menggunakan sub-data *observation points*. *Observation point* diletakkan sesuai dengan pengambilan data pasang surut.



Gambar 4. 13 *Toolbar Monitoring*

4.2.2.6. *Output*

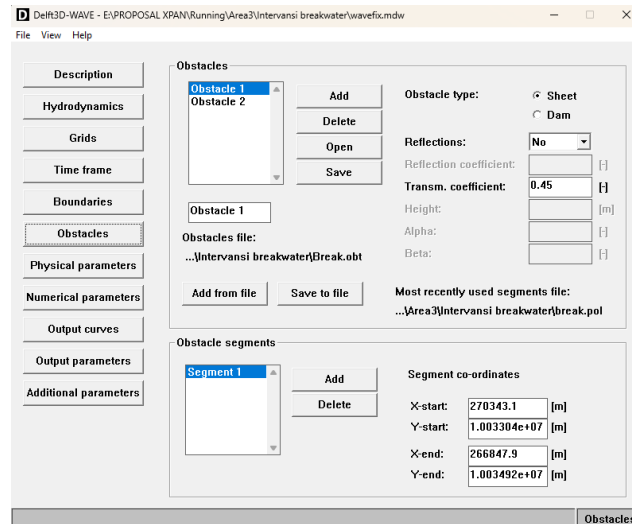
Output dipakai untuk mengatur hasil simulasi. Data grup *output* terdiri dari *storage*, *print*, dan *details*. Sub-data yang dipakai adalah *storage*. *Storage* merupakan bagian sub-data yang berisikan semua data *output* hasil simulasi yang dilakukan.



Gambar 4. 14 *Toolbar Output*

4.2.3. Wave Flow Breakwater

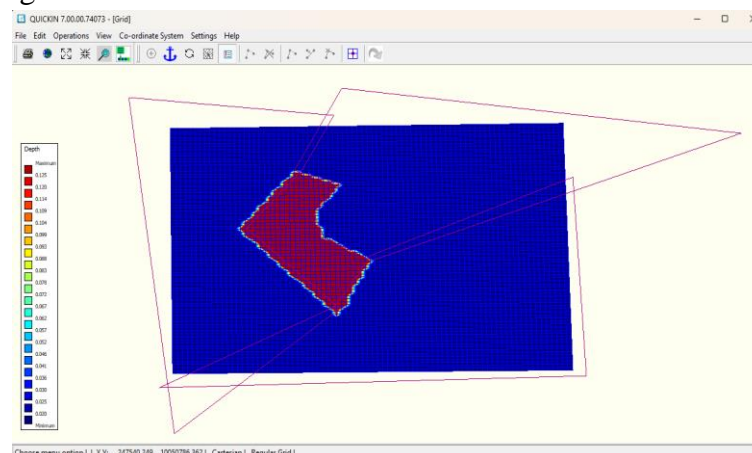
Pada *breakwater* ini hanya perlu menambahkan *obstacles* pada *wave flow* input dengan menggunakan file *mdw* yang telah di coupling.



Gambar 4. 15 *Toolbar Obstacles*

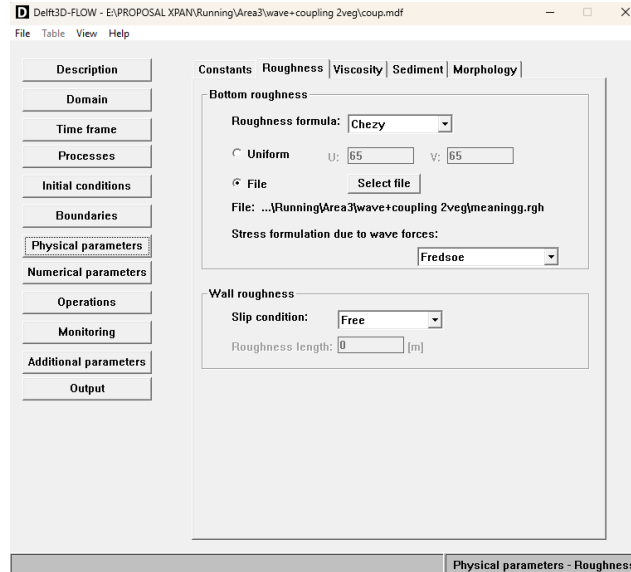
4.2.4. Wave Flow Vegetasi Magrove

Penginputan data vegetasi hanya memasukkan nilai *manning* di *Quickin* dari vegetasi yang menggunakan acuan dari jurnal[17]. Nilai *manning* tersebut antara lain yaitu *open water* = 0.02, *developed open space* = 0.02, dan vegetasi = 0.125.



Gambar 4. 16 *Input Manning di Quickin*

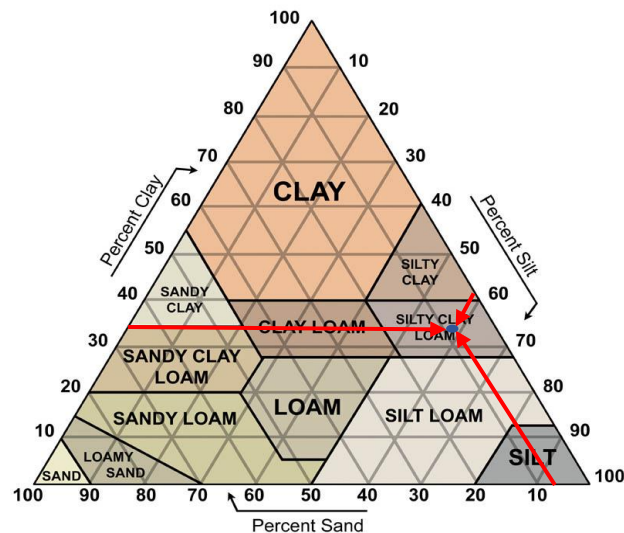
Setelah *manning* dibuat kemudian input pada Delft3D Flow *physical parameters roughness*.



Gambar 4. 17 *Toolbar Physical Parameter Roughness*

4.3 Klasifikasi Sedimentasi

Komposisi sedimen dari pengujian ini dengan hasil *sand* (pasir)= 6%, *silt* (lanau)= 59%, dan *clay* (lempung)= 35%. Dari hasil ini dapat dipetakan ke dalam segitiga tekstur tanah yang menunjukkan bahwa sedimen tergolong dalam kelas *silty clay loam*.



Gambar 4. 18 Segitiga Tekstur Tanah

Hasil analisis laboratorium terhadap sampel sedimen yang diambil dari lokasi penelitian menunjukkan bahwa nilai D_{50} adalah 0.0049 mm. Nilai 0.0049 mm jika diklasifikasikan menggunakan skala *wentworth* itu dapat dikategorikan ke dalam lempung sangat halus yang mana nilai 0.0049 mm mendekati nilai 0.005 mm. Berikut adalah nilai 0.0049 dalam skala *wentworth* :

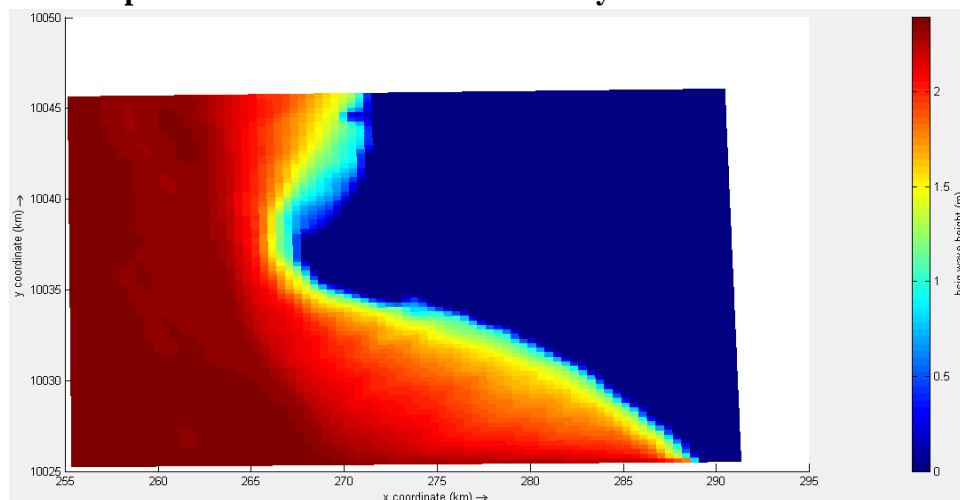
Tabel 4. 1 D50 dalam klasifikasi *wentworth*

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		mm	Satuan ϕ
Batu		256	-8
Cobble		128	-7
Koral (Pebble)	Besar	64	-6
	Sedang	32	-5
	Kecil	16	-4
	Sangat Kecil	8	-3
	Kerikil	4	-2
Pasir	Sangat Kasar	2	-1
	Kasar	1	0
	Sedang	0,5	1
	Halus	0,25	2
	Sangat Halus	0,125	3
Lumpur	Kasar	0,063	4
	Sedang	0,031	5
	Halus	0,015	6
	Sangat Halus	0,0075	7
Lempung	Kasar	0,0037	8
	Sedang	0,0018	9
	Halus	0,0009	10
	Sangat Halus	0,005	11
		0,0003	12

Sumber : (Triadmojo, Teknik Pantai (Beta Offse),1999)

4.4 Hasil Alami Tanpa *Breakwater*

4.4.1 Tanpa *Breakwater* dari Arah Barat Daya



Gambar 4. 19 Hs tanpa *breakwater* dari arah barat daya

Simulasi awal dilakukan untuk mengetahui gelombang signifikan (H_s) pada kondisi alami tanpa struktur pelindung Pantai. **Gambar 4.19** hasil simulasi tanpa *breakwater* dari arah barat daya tersebut menunjukkan bahwa nilai h_s paling tinggi berada dibagian laut terbuka dengan warna merah gelap yang menunjukkan ketinggian gelombang mencapai 2,4 meter. Gelombang tinggi ini berasal dari laut terbuka dan bergerak ke arah pantai tanpa mengalami peredaman.

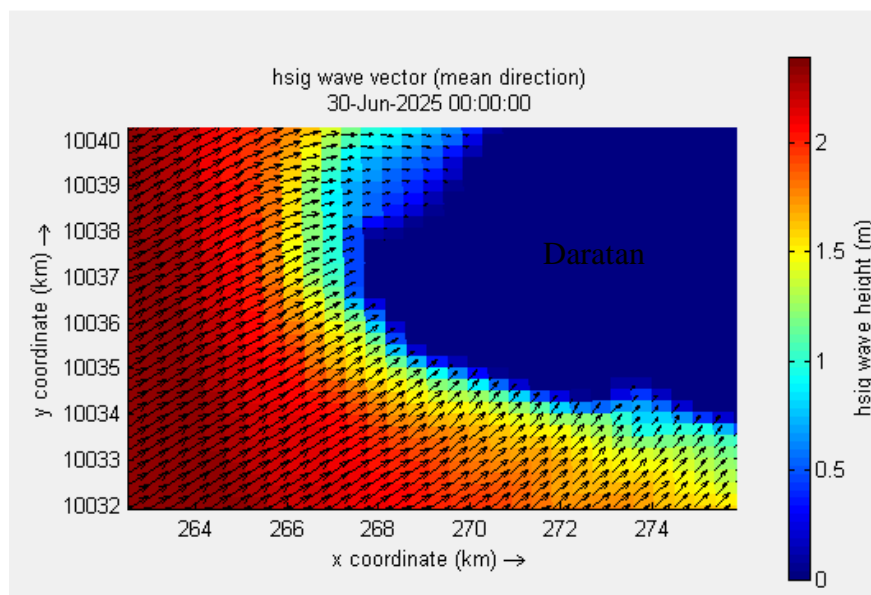
Semakin mendekati pantai, tinggi gelombang mengalami penurunan secara bertahap menjadi 1,5–1,0 meter (warna kuning hingga hijau), dan akhirnya mencapai 0,5 meter hingga sampai pesisir (warna biru muda hingga biru tua). Gelombang tinggi tersebut disebabkan oleh dua faktor utama yaitu angin musim barat daya yang bertiup kencang dan jarak tiup angin (*fetch*) yang panjang dari lautan terbuka. Jarak yang jauh ini memungkinkan gelombang untuk berkembang menjadi gelombang yang matang dengan energi kinetik yang sangat besar.

Saat gelombang berenergi tinggi ini bergerak menuju pantai, ia mengalami beberapa proses penting. Pertama, *shoaling* terjadi ketika gelombang memasuki perairan yang semakin dangkal. Akibatnya, panjang gelombang memendek, namun tinggi gelombang meningkat. Kedua, gelombang juga mengalami *refraksi* (pembelokan) karena datang miring. Bagian gelombang yang mencapai perairan dangkal lebih dulu akan melambat, menyebabkan seluruh

gelombang membelok. Ketiga, ketika rasio antara tinggi gelombang dan kedalaman air mencapai titik kritis, gelombang menjadi tidak stabil dan pecah (*breaking*) di zona dangkal. Pada saat inilah, energi gelombang dilepaskan secara tiba-tiba menjadi turbulensi.

Pelepasan energi yang besar di zona pecah adalah sebab utama abrasi. Gelombang yang pecah dengan energi tinggi secara langsung mengikis material pantai. Selain itu, sudut datang gelombang yang miring dan proses refraksi yang terjadi memicu pembentukan arus litoral (arus sepanjang pantai). Arus ini, yang tidak terlihat pada grafik H_s tetapi dapat disimpulkan dari dinamika gelombang, menjadi mekanisme utama transport sedimen lateral. Akibatnya, terjadi abrasi di satu sisi pantai dan penumpukan sedimen (akresi) di sisi lain.

Penurunan gelombang menjadi proses alami transformasi gelombang dan gelombang pecah saat kedalaman mulai dangkal. Dari hasil tersebut dapat dilihat Pantai Tanjung Burung berada pada H_s sedang dan tinggi berkisar 1,5 meter hingga 2 meter yang langsung mengarah ke pantai.



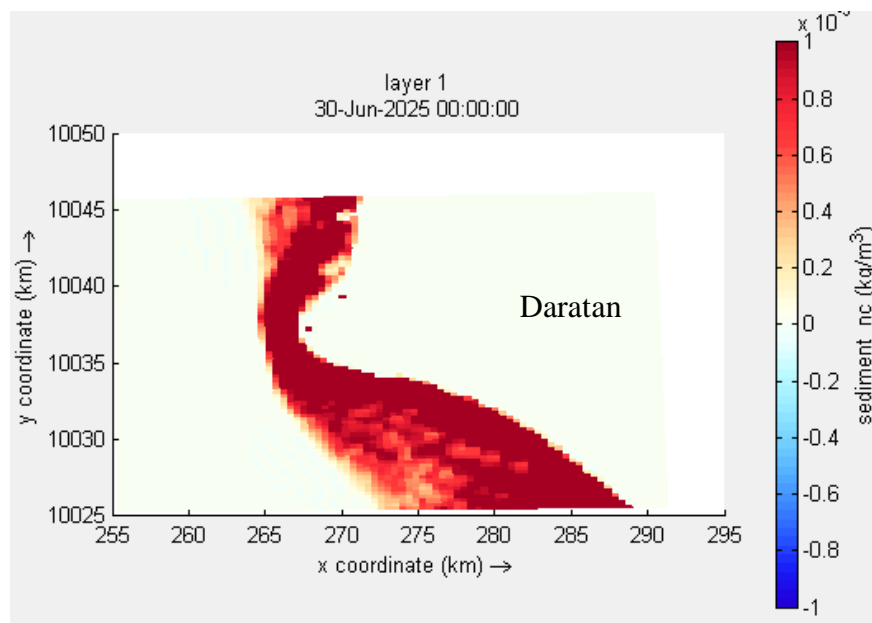
Gambar 4. 20 Vektor gelombang tanpa *breakwater* dari arah barat daya

Gambar 4.20 adalah vektor gelombang yang menunjukkan vector di perairan lepas terlihat lebih panjang dan cenderung memiliki arah yang seragam, yaitu lurus dari barat daya menuju timur laut. Panjang vektor ini mengindikasikan bahwa gelombang memiliki energi yang tinggi, yang merupakan ciri khas gelombang dari lautan terbuka dengan *fetch* yang panjang.

Sedangkan vektor di dekat pantai berubah secara signifikan. Panah-panah ini tidak lagi mengarah lurus, melainkan membelok dan arahnya menjadi lebih tegak lurus terhadap garis pantai. Selain itu, panjang dan kepadatan vektor juga cenderung berkurang, terutama di area yang paling dekat dengan daratan.

Perubah pola vektor ini disebabkan dua perubahan yaitu refraksi gelombang yang mana vektor gelombang membelok. Saat gelombang miring memasuki perairan dangkal, bagian gelombang yang berada di perairan dangkal melambat lebih dulu. Sementara itu, bagian gelombang yang masih berada di perairan dalam terus bergerak dengan kecepatan awal. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan gelombang membengkokkan panahnya, sehingga vektornya seolah-olah berputar dan mengarah lebih tegak lurus terhadap garis pantai. Proses ini adalah upaya alami gelombang untuk mendistribusikan energinya. Kemudian ada dissipasi energi, penurunan panjang vektor saat mendekati pantai menunjukkan bahwa energi gelombang sedang berkurang. Hal ini terjadi karena proses shoaling (peningkatan tinggi gelombang di perairan dangkal) yang diikuti oleh gelombang pecah (breaking) di zona surf. Gelombang pecah adalah pelepasan energi yang tiba-tiba. Energi kinetik gelombang diubah menjadi energi turbulensi dan panas, yang secara fisik mengikis dasar laut dan pantai.

Pola vektor tersebut memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap dinamika pantai. Meskipun vektor gelombang telah membelok dan menjadi lebih tegak lurus, ia tidak pernah sepenuhnya tegak lurus. Sudut datang yang miring ini, meskipun kecil, menciptakan arus litoral (arus sepanjang pantai) yang kuat. Arus ini bergerak sejajar dengan garis pantai dan merupakan mekanisme utama yang menyeret sedimen di sepanjang pantai. Akibatnya, terjadi abrasi di satu sisi pantai dan akresi (penumpukan sedimen) di sisi lainnya. Pantai akan mengalami perubahan morfologi yang dinamis, dengan material sedimen yang terus-menerus dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain. Jika sumber sedimen dari hulu tidak mencukupi, maka abrasi akan menjadi dominan. Gambar ini secara jelas menunjukkan bahwa tanpa pelindung, pantai sepenuhnya rentan terhadap serangan gelombang dari arah barat daya, dan menegaskan perlunya intervensi untuk menstabilkan garis pantai.



Gambar 4. 21 Sedimentasi tanpa *breakwater* dari arah barat daya

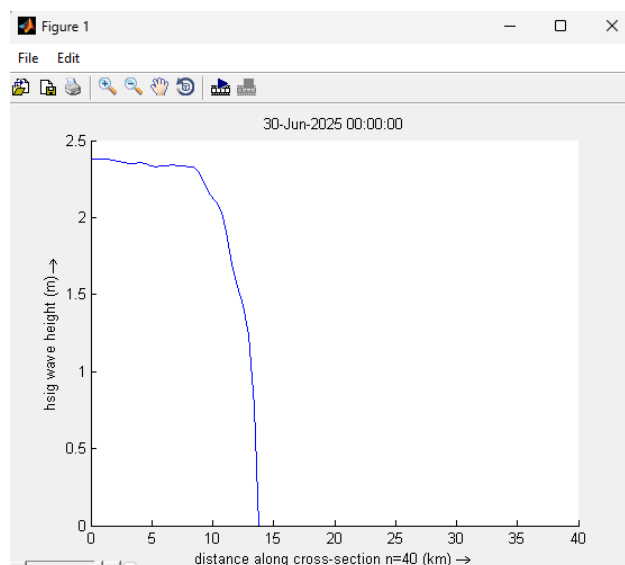
Gambar 4.21 menunjukkan sebaran transport sedimen tampak paling luas dan intens di area yang paling terpapar langsung oleh gelombang ditunjukkan oleh area warna merah yang dominan di sepanjang sisi barat daya hingga ketengah pantai. Area dengan kepadatan warna yang tinggi dan bergerak dari arah laut ke daratan menandakan zona abrasi, di mana material pantai dikikis dan diangkut.

Pola sedimentasi yang terlihat pada gambar ini adalah hasil langsung dari interaksi antara gelombang, arus, dan material dasar laut. Penyebab utamanya adalah gelombang berenergi tinggi dari arah barat daya yang memiliki kekuatan untuk mengikis dan mengangkat partikel sedimen dari dasar laut. Selain itu, sudut datang gelombang yang miring adalah faktor kunci yang memicu transport sedimen bergerak menyamping dan sejajar dengan garis pantai.

Secara fisik, gelombang tinggi yang pecah di zona surf mengaduk sedimen. Sudut datang yang miring memicu terbentuknya arus litoral (*longshore current*), yaitu arus yang bergerak sejajar dengan pantai. Arus inilah yang menjadi kendaraan utama untuk menyeret sedimen di sepanjang garis pantai. Sedimen yang lebih halus diangkat ke dalam kolom air oleh gelombang (*transport suspensi*), sementara sedimen yang lebih kasar didorong di dasar laut

(*transport bedload*). Gambar ini menunjukkan efek gabungan dari kedua jenis transport ini.

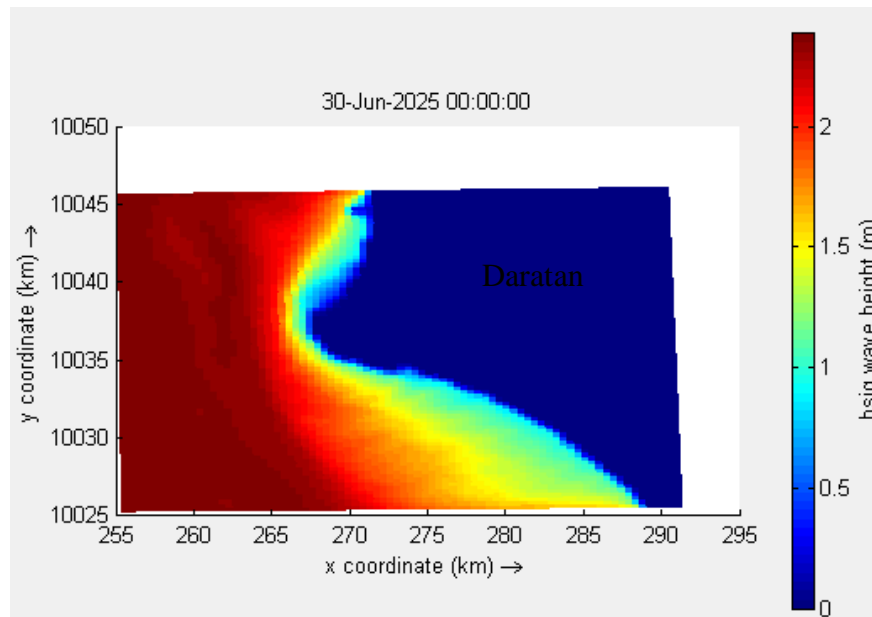
Pola sedimentasi pada kondisi alami memiliki implikasi jangka panjang yang serius terhadap kestabilan pantai. Gambar ini adalah bukti fisik dari proses abrasi. Sebaran sedimen yang masif dari arah laut ke daratan menunjukkan bahwa pantai secara terus-menerus kehilangan materialnya. Tanpa adanya suplai sedimen yang seimbang dari sumber lain (misalnya sungai), abrasi ini akan bersifat permanen dan menyebabkan mundurnya garis pantai. Transport sedimen lateral menyebabkan perubahan bentuk pantai, menciptakan cekungan erosi dan tanjung akresi. Perubahan ini dapat membahayakan ekosistem dan infrastruktur di pesisir. **Gambar 4.21** menunjukkan bahwa pada kondisi alami tanpa *breakwater*, pantai tidak memiliki mekanisme perlindungan yang memadai, dan dinamika sedimen sepenuhnya dikendalikan oleh kekuatan alam yang berujung pada erosi yang dominan.



Gambar 4. 22 Grafik h_s tanpa *breakwater* dari arah barat daya

Gambar 4. 22 menunjukkan grafik h_s pada titik awal tinggi gelombang mencapai sekitar 2,4 meter menunjukkan gelombang masih berada dalam kondisi lepas pantai yang mana energi gelombang masih utuh, hingga 10-15 km tinggi gelombang masi cenderung stabil hanya menurun sedikit. Setelah jarak 15 km terjadi penurunan tajam hingga mencapai 0 meter

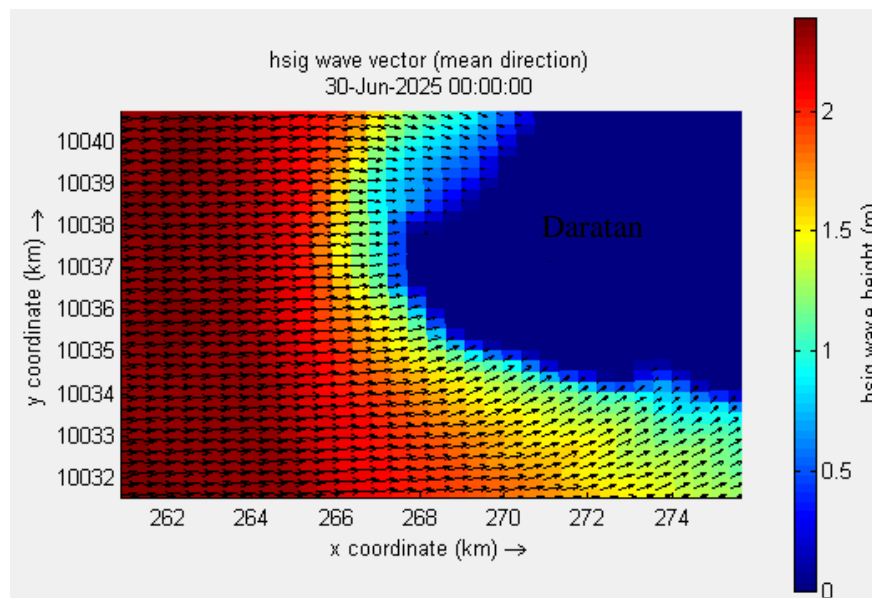
4.4.2 Tanpa *Breakwater* dari Arah Barat



Gambar 4. 23 Hs tanpa *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.23 menunjukkan nilai h_s paling tinggi mencapai 2,38 meter yang berada dibagian barat sedangkan pada bagian selatan nilai h_s sedikit menurun menjadi 1,5 meter karena arah gelombang datang dari arah barat yang tegak lurus dengan pantai, sehingga energi gelombang tertuju langsung ke pantai dan menyebabkan konsentrasi energi lebih tinggi di area tersebut. Gelombang tinggi tersebut disebabkan oleh gelombang datang hampir tegak lurus terhadap garis pantai, yang berarti energi gelombang tidak menyebar secara menyamping. Saat gelombang memasuki perairan dangkal, ia mengalami shoaling di mana tinggi gelombang meningkat. Namun, karena gelombang datang secara frontal, ia tidak mengalami refraksi (pembelokan) yang berarti. Akibatnya, energi gelombang tetap terkonsentrasi pada satu jalur dan tidak terdistribusi ke area lain. Berbeda dengan gelombang miring yang energinya mulai tersebar di perairan dangkal, gelombang frontal ini mempertahankan sebagian besar energinya hingga mencapai garis pantai. Pelepasan energi terjadi secara masif dan tiba-tiba di sepanjang front gelombang, menyebabkan gelombang pecah (*breaking*) yang sangat kuat. Gelombang yang pecah secara frontal menghasilkan gelombang balik (*backwash*) yang kuat, yang berpotensi menyeret material sedimen kembali ke laut.

Pola gelombang yang ditunjukkan pada gambar ini adalah penyebab utama abrasi vertikal atau pengikisan pantai yang sangat parah. Energi yang terkonsentrasi menciptakan tekanan hidrodinamis yang ekstrem dan langsung mengikis profil pantai, menyebabkan mundurnya garis pantai secara cepat dan signifikan. Karena tidak ada sudut datang yang miring, pembentukan arus litoral menjadi minimal. Ini berarti transport sedimen lateral (sepanjang pantai) juga sangat sedikit. Sedimen lebih cenderung didorong ke darat dan ditarik kembali ke laut oleh backwash. Grafik ini secara efektif menunjukkan kondisi gelombang yang paling merusak. Tanpa adanya pelindung, pantai sepenuhnya rentan terhadap serangan frontal ini, dan kerusakan yang diakibatkannya bisa bersifat permanen jika tidak diatasi. Ini menjadi justifikasi kuat untuk pemasangan struktur pelindung seperti breakwater yang diletakkan secara optimal untuk menghadapi arah gelombang frontal.

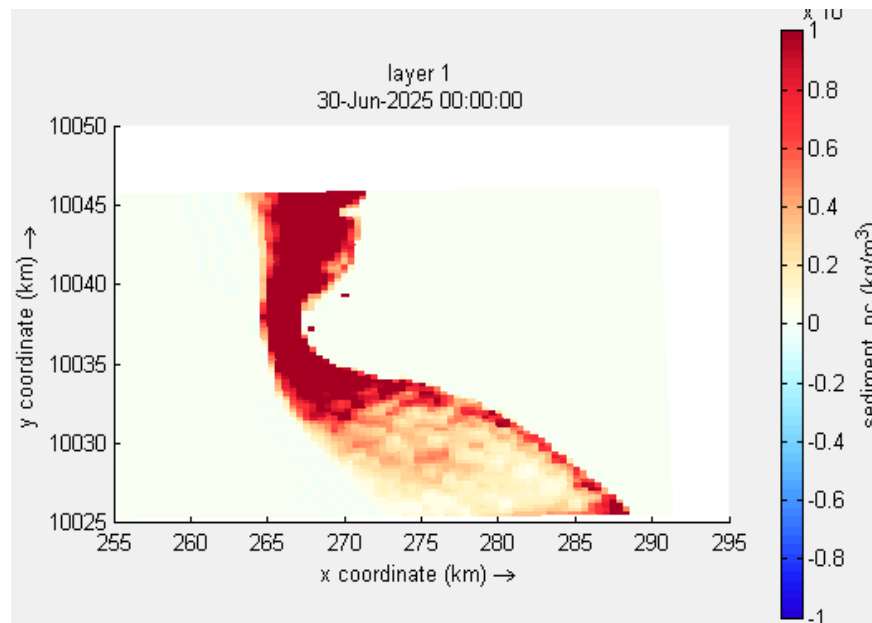


Gambar 4. 24 Vektor gelombang tanpa *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.24 adalah vektor gelombang yang menunjukkan arah gelombang dominan masuk dari arah barat yang tegak lurus terhadap garis pantai dan tidak ada pembelokan yang signifikan seperti yang terlihat pada kondisi gelombang miring. Vektor gelombang terlihat panjang dan sangat padat, menunjukkan energi gelombang yang masif dan terkonsentrasi. Kepadatan dan panjang ini menurun secara tiba-tiba di dekat garis pantai.

Pola vektor ini disebabkan oleh interaksi langsung antara gelombang dan garis pantai, yang meminimalkan mekanisme peredaman alami. Alasan utama mengapa vektor tidak membelok adalah karena gelombang datang secara tegak lurus. *Refraksi* (pembelokan gelombang) hanya terjadi jika ada perbedaan kecepatan gelombang di sepanjang garis pantai, yang biasanya disebabkan oleh sudut datang miring. Karena gelombang datang tegak lurus, seluruh titik gelombang mencapai perairan dangkal pada waktu yang hampir bersamaan. Ini berarti energi gelombang tidak terdistribusi, melainkan tetap terkonsentrasi dan mengarah lurus ke pantai. Gelombang mengalami shoaling di perairan dangkal, yang meningkatkan tinggi dan energinya. Namun, karena tidak ada refraksi, seluruh energi gelombang dipecahkan secara bersamaan di sepanjang garis pantai. Pelepasan energi yang tiba-tiba ini menciptakan tekanan hidrodinamis yang sangat ekstrem. Pelepasan energi frontal ini juga menghasilkan gelombang balik (*backwash*) yang sangat kuat. Air yang kembali ke laut membawa material sedimen, menyebabkan erosi pada profil pantai.

Dampak yang terjadi jika gelombang terus menerus datang dari arah barat akan menyebabkan abrasi vertikal yang sangat parah. Proses ini menyebabkan mundurnya garis pantai secara cepat dan signifikan. Karena tidak ada sudut datang yang miring, arus litoral (*longshore current*) tidak terbentuk secara signifikan. Ini berarti tidak ada mekanisme alami untuk mengangkut sedimen di sepanjang pantai. Sedimen hanya didorong ke darat dan ditarik kembali ke laut oleh *backwash*, menyebabkan hilangnya material pantai secara permanen. Gambar ini adalah bukti visual bahwa kondisi ini adalah yang paling berbahaya bagi pantai. Tanpa intervensi, abrasi akan terus terjadi dengan intensitas tinggi, mengancam infrastruktur dan ekosistem di pesisir. Pola vektor ini menjadi justifikasi utama untuk membangun struktur pelindung seperti breakwater yang diletakkan secara optimal untuk menghadapi serangan tegak lurus.



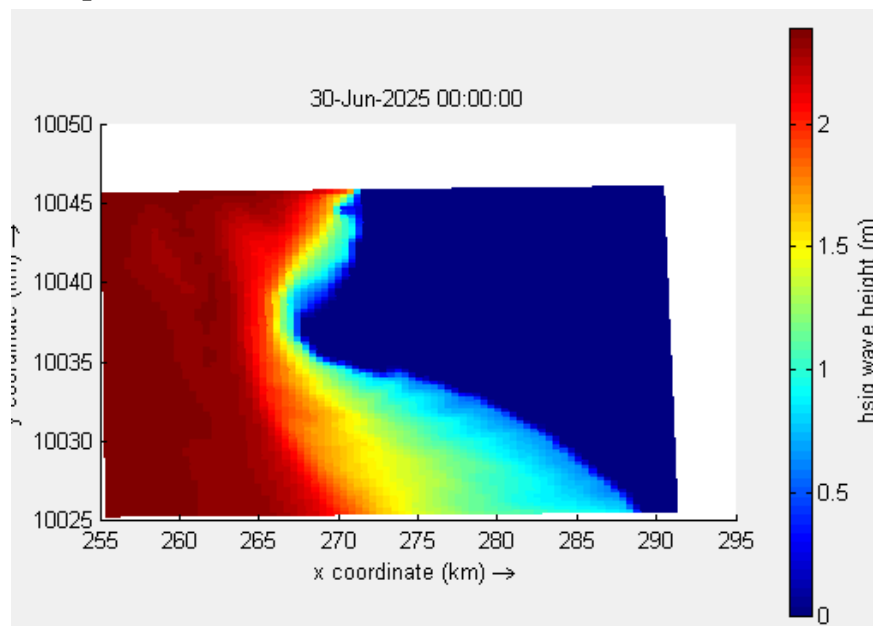
Gambar 4. 25 Sedimentasi tanpa *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.25 menunjukkan pergerakan sedimen dari arah barat yang lebih berpusat pada bagian tengah pantai. Hal ini disebabkan karena arah gelombang tegak lurus terhadap garis pantai, sehingga mendorong sedimen secara langsung ke arah daratan, bukan menyamping. Pola ini secara jelas mengindikasikan bahwa abrasi adalah proses yang sangat dominan dan terfokus di area yang paling terpapar gelombang. Material sedimen terlihat "didorong" dari laut menuju pantai, tetapi tidak ada penumpukan permanen yang terbentuk di sepanjang garis pantai.

Hal ini disebabkan arah gelombang yang hampir tegak lurus terhadap garis pantai. Gelombang ini mentransfer energi secara langsung dan terfokus ke pantai. Gelombang tinggi dari arah barat memiliki energi yang sangat besar dan terkonsentrasi. Energi inilah yang menyediakan kekuatan untuk mengikis dan mengangkat partikel sedimen dari dasar laut. Gelombang yang tegak lurus pecah dengan energi tinggi tidak menciptakan arus litoral yang kuat. Sebaliknya, ia secara langsung mengaduk dan mengikis material sedimen di dasar laut. Material ini kemudian didorong ke arah daratan oleh gelombang. Hal ini juga dipengaruhi oleh gelombang balik (*backwash*), air yang kembali ke laut membawa serta material sedimen, menyebabkan erosi pada profil pantai. Proses ini adalah siklus berulang di mana sedimen diangkat ke darat dan kemudian ditarik kembali ke laut.

Pola ini mengakibatkan abrasi vertikal yang parah yang mana material pantai dikikis secara langsung tanpa adanya mekanisme transport lateral yang dapat mendistribusikannya. Akibatnya, garis pantai akan mundur secara cepat dan signifikan. Karena tidak ada arus litoral yang kuat, sedimen yang dikikis dari pantai cenderung tidak menumpuk di area lain. Sebagian besar material tersebut diangkut menjauh dari pantai oleh gelombang balik yang kuat, menyebabkan hilangnya material pantai secara permanen.

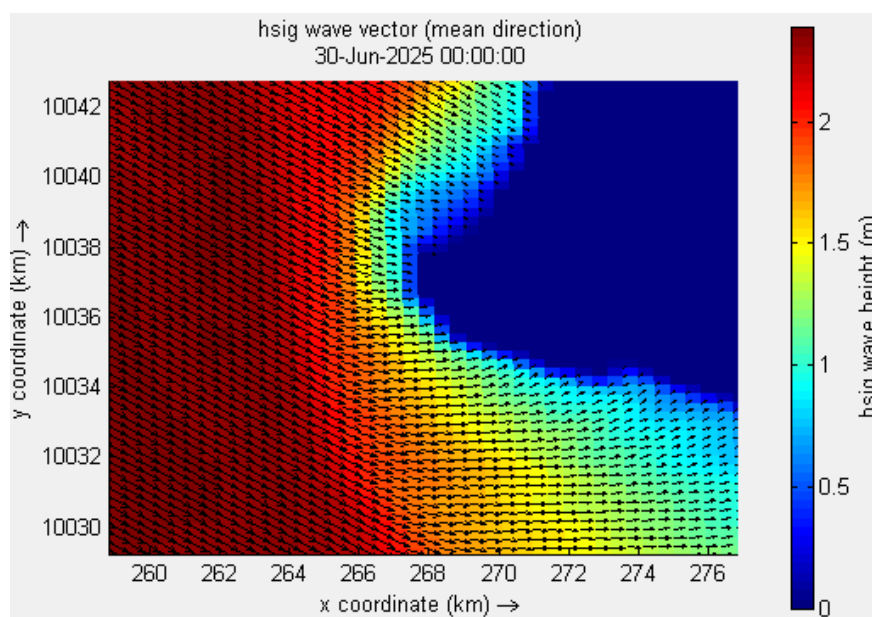
4.4.3 Tanpa *Breakwater* dari Arah Barat Laut



Gambar 4. 26 H_s tanpa *breakwater* dari arah barat laut

Gambar 4.26 menunjukkan tinggi gelombang tertinggi mencapai 2,38 meter. Pola ini tidak terkonsentrasi pada satu jalur lurus, melainkan terlihat menyebar dan menurun secara bertahap saat gelombang bergerak ke arah tenggara (menuju pantai). Penurunan H_s ini ditunjukkan oleh perubahan warna dari merah ke oranye, kuning, dan akhirnya hijau dan biru di area yang lebih dekat ke pantai. Pada bagian selatan gelombang lebih kecil dari pada di daerah pantai karena Gelombang yang datang dari arah barat laut tidak menghantam pantai secara tegak lurus, melainkan dengan sudut miring. Saat gelombang ini memasuki perairan dangkal, ia mengalami refraksi. Proses ini menyebabkan bagian gelombang yang lebih dekat ke pantai melambat lebih dulu dibandingkan bagian gelombang yang masih berada di perairan dalam. Perbedaan kecepatan ini memaksa front gelombang untuk membengkokkan dirinya, seolah-olah berusaha datang lebih tegak lurus

terhadap garis kontur kedalaman. Morfologi dasar laut (batimetri) juga berpengaruh dalam menentukan distribusi H_s . Jika bagian bawah perairan (selatan) memiliki kontur kedalaman yang lebih dangkal atau topografi yang lebih kompleks, maka proses gesekan dengan dasar laut (*bottom friction*) akan lebih dominan. Gesekan ini akan memperlambat gelombang lebih cepat, yang mengakibatkan dissipasi energi yang lebih besar. Gelombang yang datang miring dari barat laut juga menciptakan arus litoral (arus sepanjang pantai) yang bergerak ke arah selatan. Arus ini membawa serta sedimen. Di beberapa area, interaksi antara arus, sedimen, dan dasar laut dapat menciptakan turbulensi yang turut menguras energi gelombang, sehingga H_s di area tersebut menjadi lebih rendah. Jika di bagian selatan terdapat zona akresi (penumpukan sedimen), tumpukan ini dapat bertindak sebagai penghalang parsial yang turut meredam energi gelombang.



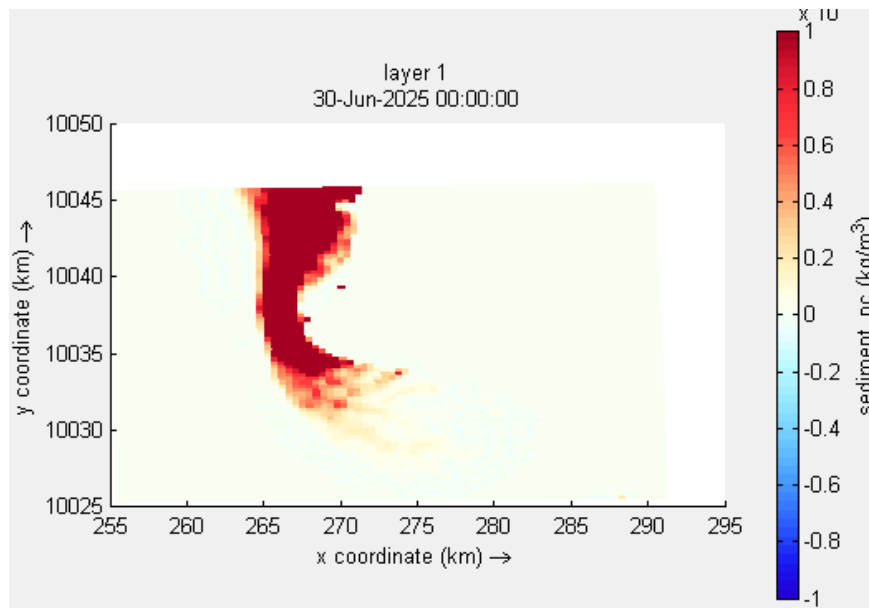
Gambar 4. 27 Vektor gelombang tanpa *breakwater* dari arah barat laut

Gambar 4.27 menunjukkan vektor gelombang yang mengarah dari barat laut menuju tenggara. Di perairan lepas, vektor gelombang datang dari arah barat laut dengan sudut yang jelas miring terhadap garis pantai. Hal ini mengindikasikan bahwa gelombang tidak menghantam pantai secara langsung. Saat vektor mendekati pantai bagian selatan, mereka terlihat membelok atau berputar. Panah-panah yang awalnya mengarah miring menjadi lebih tegak lurus terhadap garis pantai. Perubahan arah ini adalah bukti nyata adanya proses perubahan yang penting. Selain itu, panjang vektor di perairan selatan menjadi lebih pendek dan

tidak sepadat di perairan lepas. Ini menunjukkan bahwa energi gelombang telah berkurang secara signifikan sebelum mencapai daratan.

Refraksi gelombang adalah alasan utama mengapa vektor gelombang membelok. Ketika gelombang miring memasuki perairan dangkal, bagian gelombang yang lebih dekat ke pantai melambat karena gesekan dengan dasar laut (*bottom friction*). Sementara itu, bagian gelombang yang masih berada di perairan dalam terus bergerak dengan kecepatan aslinya. Perbedaan kecepatan ini menyebabkan gelombang membengkokkan frontnya, sehingga arah gelombang menjadi lebih tegak lurus terhadap garis kontur kedalaman. Proses ini secara efektif mendistribusikan energi gelombang.

Dissipasi energi juga terjadi, yang ditandai dengan penurunan panjang vektor saat mendekati pantai. Proses ini terjadi karena shoaling—di mana gelombang mengalami peningkatan tinggi saat memasuki perairan dangkal—yang membuatnya menjadi tidak stabil, hingga akhirnya pecah (*breaking*) di zona surf. Gelombang pecah melepaskan sebagian besar energinya menjadi turbulensi, yang secara visual ditunjukkan oleh vektor yang menjadi lebih pendek. Meskipun gelombang telah mengalami refraksi, ia tidak pernah sepenuhnya datang tegak lurus. Sudut datang yang miring ini, ditambah dengan energi yang tersisa, menciptakan arus litoral (*longshore current*) yang kuat. Arus ini bergerak sejajar dengan garis pantai dan menjadi mekanisme utama yang menyeret sedimen di sepanjang pantai. Berbeda dengan gelombang frontal yang menyebabkan abrasi vertikal, gelombang miring ini bertanggung jawab atas transport sedimen lateral (menyamping). Sedimen diangkat dan diangkut di sepanjang pantai oleh arus litoral, yang mengakibatkan abrasi di sisi hulu dan penumpukan sedimen (akresi) di sisi hilir. Pola ini seringkali menyebabkan perubahan morfologi pantai yang dinamis, dengan pembentukan cekungan erosi di satu area dan tanjung sedimen di area lain. Gambar ini menunjukkan bahwa, meskipun mekanisme peredaman alami seperti refraksi terjadi, pantai tetap rentan terhadap erosi. Transport sedimen lateral yang masif dapat menyebabkan perubahan garis pantai yang signifikan dan mengancam stabilitas ekosistem serta infrastruktur di pesisir. Oleh karena itu, diperlukan intervensi untuk mengendalikan arus litoral dan menstabilkan pergerakan sedimen.



Gambar 4. 28 Sedimentasi tanpa *breakwater* dari arah barat laut

Gambar 4.28 menunjukkan sedimen tampak lebih sedikit dan hanya menumpuk pada bagian tengah dan utara. Sebaran ini tidak merata di seluruh garis pantai, melainkan terkonsentrasi di satu sisi, mengindikasikan adanya pergerakan material yang terarah. Vektor sedimen pada gambar menunjukkan bahwa material sedimen diangkut secara lateral (menyamping) di sepanjang garis pantai, mengikuti arah arus yang terbentuk oleh gelombang. Sedimen menumpuk pada bagian tengah dan utara dan pada bagian selatan sama sekali tidak ada hal ini disebabkan oleh kombinasi dari arah gelombang yang miring, pembentukan arus litoral, dan distribusi energi yang tidak merata.

Penyebab utamanya adalah gelombang yang datang dari arah barat laut dengan sudut miring terhadap garis pantai. Sudut ini adalah factor yang memicu terbentuknya arus litoral (*longshore current*). Arus ini adalah aliran air yang bergerak sejajar dengan garis pantai. Karena gelombang datang dari barat laut, arus litoral yang terbentuk akan bergerak dari utara ke selatan. Hal tersebut menyebabkan ketidakstabilan garis pantai, area yang dulunya stabil dapat mulai mengalami abrasi, sementara area lain mengalami pendangkalan. Ketidakstabilan ini membahayakan infrastruktur yang dibangun di dekat pantai.

4.5 Hasil Dengan *Breakwater*

Pemodelan tahap kedua ini dengan ditambahkan *breakwater* sebagai pelindung pantai. Tujuan adanya *breakwater* untuk meredam energi gelombang dan melindungi kawasan pantai dari abrasi.

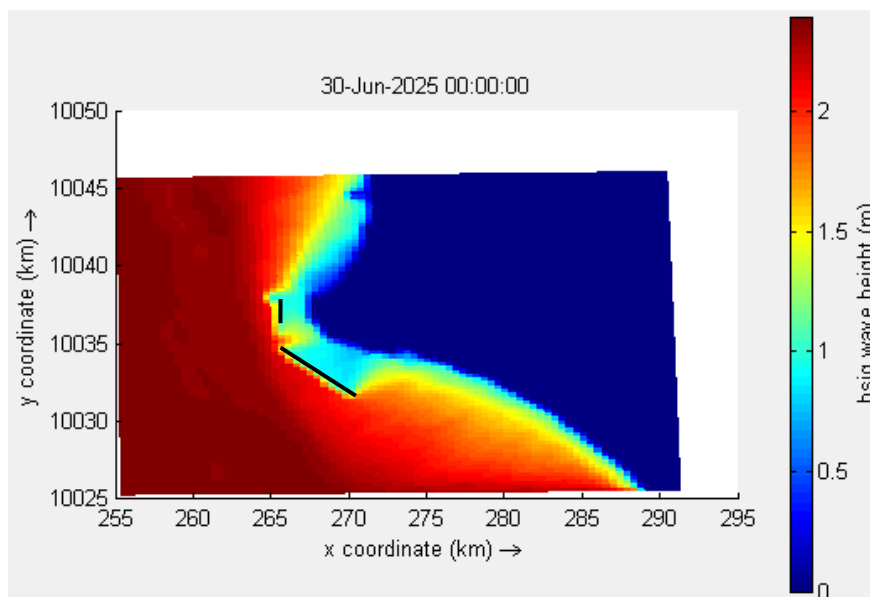
4.5.1 Penentuan Letak *Breakwater*

Penentuan letak *breakwater* dilakukan secara strategis dengan mempertimbangkan dua faktor utama yaitu dari arah datangnya gelombang dominan dan dengan energi gelombang tertinggi. Pada arah gelombang dominan didapat dari data arah gelombang ECMWF yang kemudian dianalisis menggunakan diagram *waverose*. Diagram ini menunjukkan bahwa arah angin dominan, yang menjadi pemicu gelombang, berasal dari arah barat laut (BL) dan barat (B). Oleh karena itu, penempatan *breakwater* harus diprioritaskan di area yang paling rentan terhadap gelombang dari arah tersebut sedangkan dari arah barat daya didapat dari tinggi gelombang signifikan (h_s). Dari hasil tersebut dibuatlah dua *breakwater* yang mana *breakwater* pertama diletakkan di lokasi yang paling sering menerima gelombang langsung dari laut terbuka, tepat di depan Pantai Tanjung Burung. *Breakwater* ini memiliki panjang 4 meter. Dan *breakwater* kedua ditempatkan di sisi atas pantai dengan panjang 2,5 meter untuk secara spesifik melindungi area dari gelombang yang datang dari arah barat.

Bentuk *breakwater* yang digunakan adalah garis terpotong, yang berfungsi untuk meredam energi gelombang sekaligus mengarahkan sebagian energi ke samping, sehingga mencegah terbentuknya gelombang balik yang dapat memperburuk erosi lokal

Hasil simulasi menggambarkan interaksi antara gelombang dan sedimentasi di sekitar *breakwater*. *Breakwater* dapat meredam gelombang akan tetapi tidak dapat mengendalikan sedimentasi yang terbawa oleh gelombang.

4.5.2 Breakwater dari Arah Barat Daya

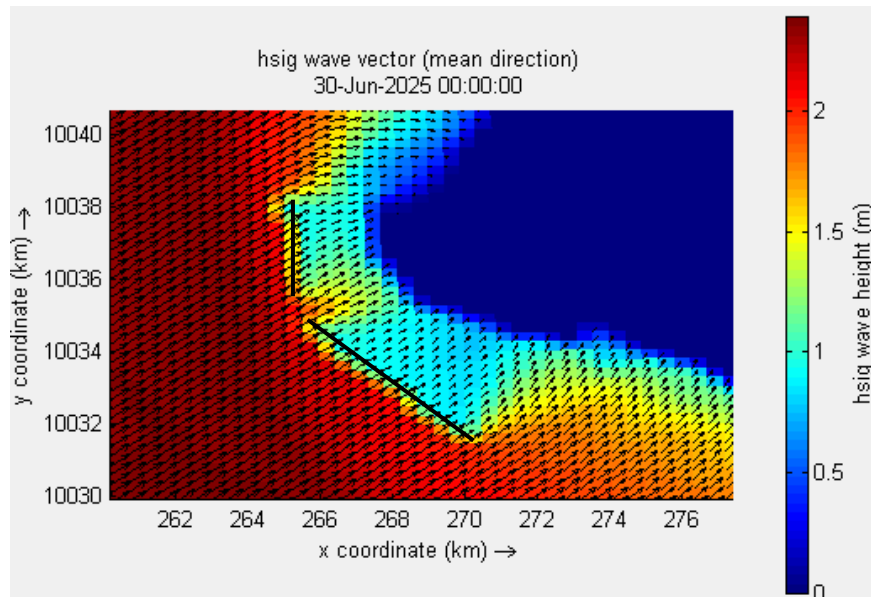


Gambar 4. 29 Hs dengan *breakwater* dari arah barat daya

Gambar 4.29 terlihat ketika gelombang bergerak menuju pantai, gelombang mulai berinteraksi dengan *breakwater*. Dari gambar terlihat ketika gelombang mulai mendekati *breakwater*, tinggi gelombang langsung menurun drastis dari 2 meter (warna merah) kemudian pecah menjadi 1,15 meter (warna kuning). Di sisi dalam atau belakang *breakwater*, warna berubah menjadi biru muda yang menunjukkan bahwa tinggi gelombang di area tersebut menjadi sangat kecil. *Breakwater* berfungsi sebagai penghalang gelombang, di mana sebagian besar energi gelombang dipantulkan atau dipecah sehingga hanya sedikit energi yang tersisa untuk masuk ke wilayah di belakangnya.

Gelombang pecah terjadi ketika gelombang berenergi tinggi dari barat daya menghantam *breakwater*, ia dipaksa untuk pecah di depan struktur. Proses ini mendisipasi sebagian besar energi kinetik gelombang menjadi panas dan turbulensi. Akibatnya, energi yang tersisa untuk melewati *breakwater* menjadi sangat kecil dan sebagian kecil energi gelombang dapat melewati *breakwater* melalui proses difraksi, yaitu pembelokan gelombang di sekitar ujung struktur. Gelombang yang terdifraksi ini memiliki Hs yang jauh lebih rendah dan menyebar di belakang *breakwater*. Efek ini dapat menyebabkan pola gelombang yang lebih kompleks di area terlindungi, namun Hs tetap sangat rendah dibandingkan dengan kondisi alami. *Breakwater* mengurangi hs hingga

mendekati nol, breakwater juga mencegah abrasi yang disebabkan tinggi gelombang dominan tetapi zona tenang di belakang *breakwater* menciptakan lingkungan di mana sedimen yang terbawa oleh gelombang dengan energi rendah dapat mengendap. Seiring waktu, hal ini dapat menyebabkan penumpukan sedimen (akresi) dan secara bertahap menambah luasan pantai



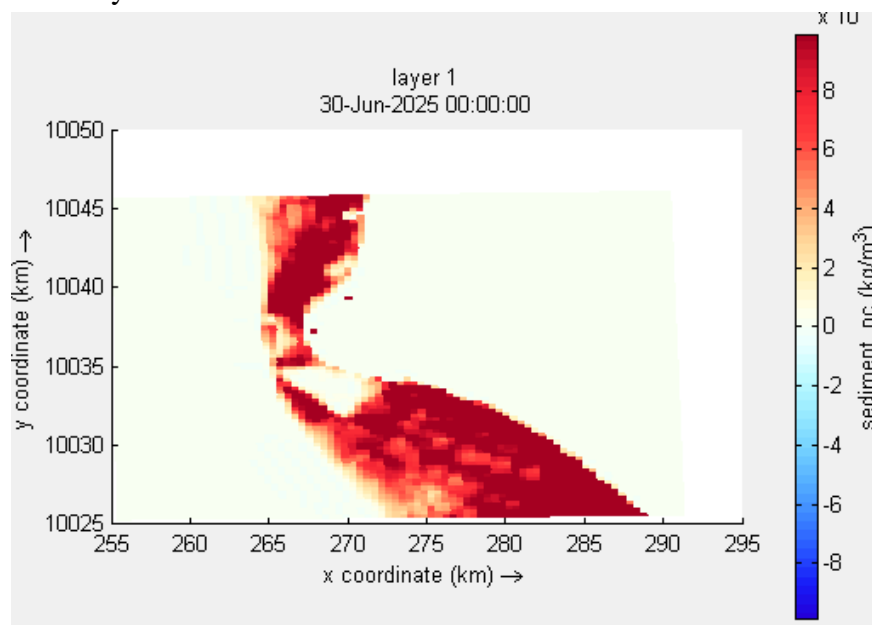
Gambar 4. 30 Vektor gelombang dengan *breakwater* dari arah barat daya

Gambar 4.30 menunjukkan perbedaan yang sangat mencolok dibandingkan dengan kondisi alami. Di perairan lepas, vektor gelombang terlihat panjang dan mengarah dari barat daya, menunjukkan energi yang tinggi. Namun, vektor berhenti atau berkurang drastis panjangnya di depan struktur *breakwater*. Ini menandakan bahwa energi gelombang telah diredam. Di belakang *breakwater*, hampir tidak ada vektor gelombang yang terlihat. Vector yang ukurannya sangat pendek menandakan area tersebut menjadi zona yang sangat tenang. Terdapat sedikit pembelokan vektor di sekitar ujung breakwater, yang menunjukkan bahwa sebagian kecil energi gelombang dapat melewati breakwater melalui proses difraksi, meskipun dengan energi yang sangat rendah.

Vector gelombang adalah proses perubahan yang dirancang oleh *breakwater* untuk meredam energi gelombang. Ketika gelombang berenergi tinggi dari barat daya menghantam *breakwater*, gelombang dipaksa untuk pecah di depan struktur. Vektor yang terhenti di depan *breakwater* adalah representasi visual dari disipasi energi yang besar. *Breakwater* berfungsi sebagai penghalang

fisik yang efektif, sehingga energi gelombang tidak dapat bergerak maju ke arah pantai. Vektor pendek yang terlihat di belakang ujung *breakwater* adalah hasil dari difraksi gelombang. Gelombang yang tidak dapat melewati struktur akan membengkok di sekitar ujungnya dan menyebar ke area terlindung, namun dengan energi yang sangat rendah sehingga tidak menimbulkan ancaman abrasi yang signifikan.

Vektor yang berhasil diredam oleh *breakwater* memiliki implikasi jangka panjang yang sangat positif terhadap kestabilan pantai. Dengan menghilangkan vektor gelombang berenergi tinggi yang mencapai pantai, *breakwater* secara efektif menghentikan abrasi frontal yang disebabkan oleh gelombang dominan dari barat daya.

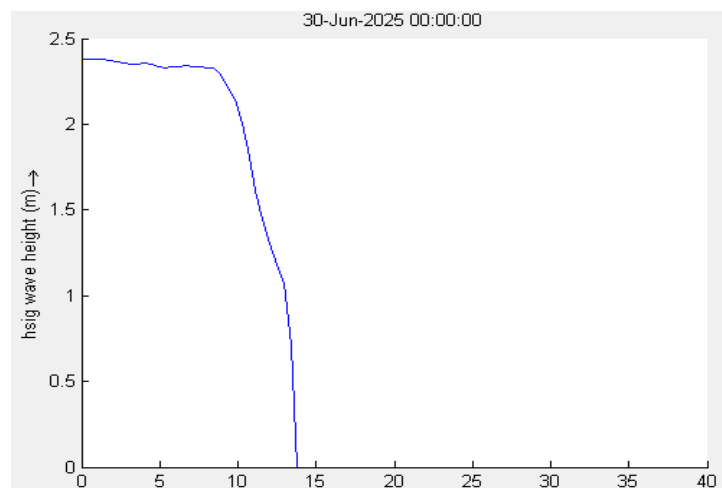


Gambar 4. 31 Sedimentasi dengan *breakwater* dari arah barat daya

Gambar 4.31 menunjukkan perbedaan yang sangat mencolok dibandingkan dengan kondisi alami. Pada kondisi alami, sedimen diangkut secara *lateral* (menyamping) di sepanjang garis pantai. Namun, dengan adanya *breakwater*, pola ini berubah total. Sebagian besar konsentrasi sedimen tinggi (ditandai dengan warna merah dan oranye) kini terfokus di depan dan di sekitar *breakwater*. Di area tepat di belakang *breakwater*, terlihat tidak ada konsentrasi sedimen (ditandai dengan warna putih). Ini adalah bukti visual dari keberhasilan *breakwater* dalam menciptakan zona bayangan gelombang, di mana energi gelombang sangat rendah, sehingga sedimen tidak dapat diangkut. Terdapat pola

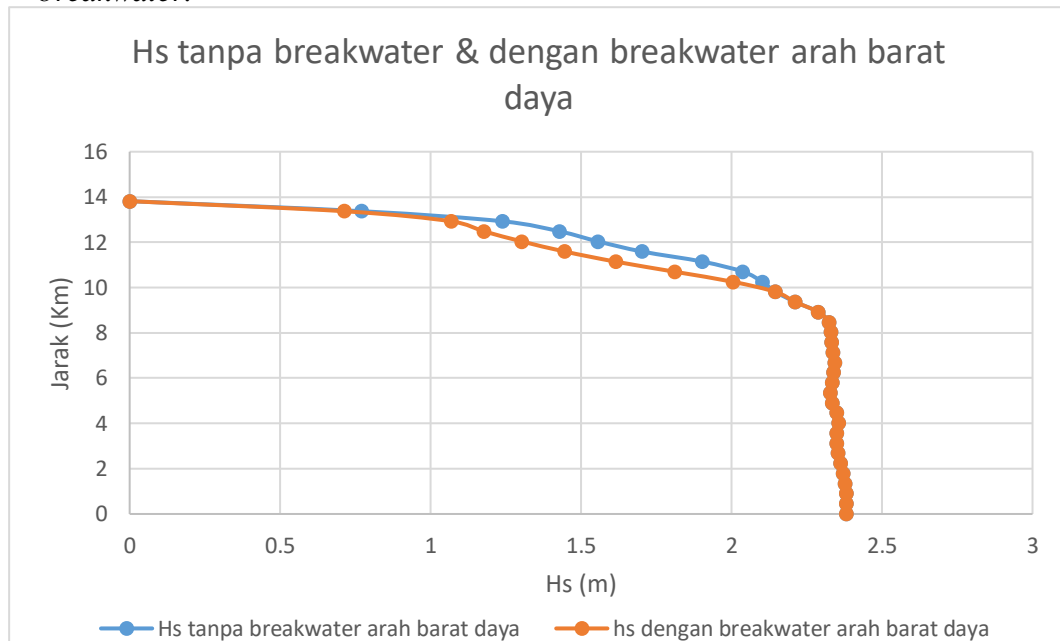
penumpukan sedimen yang signifikan di belakang *breakwater*, yang secara perlahan akan membentuk "tanjung" pasir yang menjorok ke arah struktur. Ini menunjukkan bahwa *breakwater* tidak hanya menghentikan erosi, tetapi juga memfasilitasi penambahan lahan.

Perubahan pola sedimentasi ini adalah hasil langsung dari interaksi antara gelombang, *breakwater*, dan material sedimen. Pada kondisi alami, gelombang miring dari barat daya menciptakan arus litoral yang kuat, yang menjadi kendaraan utama untuk transport sedimen lateral. *Breakwater* yang diletakkan secara strategis berfungsi sebagai penghalang fisik. Gelombang yang pecah di depannya kehilangan energinya, sehingga arus litoral yang seharusnya terbentuk di belakangnya menjadi sangat lemah atau bahkan tidak ada. Dengan tidak adanya arus ini, sedimen tidak lagi diangkut di sepanjang pantai. *Breakwater* bertindak sebagai jebakan sedimen. Sedimen yang terbawa oleh gelombang dari arah barat daya akan menghantam *breakwater* dan mulai mengendap di depannya. Sedimen yang berhasil melewati atau terbawa oleh arus sisa akan kehilangan energi di zona tenang di belakang *breakwater* dan mengendap di sana. Proses pengendapan sedimen di belakang *breakwater*, yang disebut akresi, adalah bukti nyata dari keberhasilan rekayasa pantai. Seiring waktu, sedimen yang terus menumpuk akan membentuk sebuah gundukan atau tanjung pasir yang menjorok dari pantai menuju *breakwater*.



Gambar 4. 32 Grafik h_s dengan *breakwater* dari arah barat daya

Dapat dilihat **Gambar 4.22** dan **Gambar 4.32** grafik H_s tanpa pelindung dan dengan *breakwater* dari arah barat daya hampir sama dan tidak begitu jelas perbedaannya tetapi dari dua grafik tersebut memiliki perbedaan yang menunjukkan penurunan tinggi gelombang pada bagian tengah yang terkena *breakwater*.

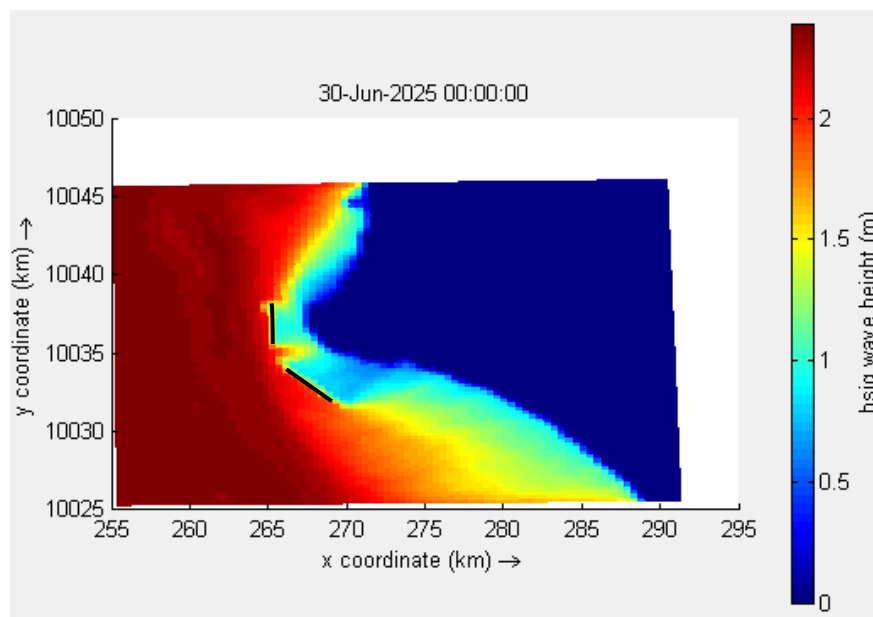


Gambar 4. 33 Grafik perbandingan H_s tanpa *breakwater* dan dengan *breakwater* arah barat daya

Jika grafik disatukan seperti **Gambar 4.33** maka dapat kita lihat perbedaannya. Garis berwarna biru adalah kondisi tanpa adanya *breakwater* dan garis berwarna oranye adalah kondisi adanya *breakwater*. Garis biru menunjukkan bahwa H_s mencapai puncaknya (sekitar 2,4 meter) di perairan lepas dan mulai menurun secara bertahap saat mendekati pantai. Penurunan ini adalah akibat dari proses shoaling dan refraksi gelombang yang menyebabkan gelombang pecah. Meskipun terjadi penurunan, H_s yang mencapai garis pantai masih cukup tinggi dan berenergi besar, sehingga menyebabkan abrasi vertikal dan transport sedimen lateral yang signifikan. Garis oranye menunjukkan pola yang sama sekali berbeda. H_s mulai menurun drastis jauh sebelum mencapai garis pantai, tepatnya di lokasi penempatan *breakwater*. Nilai H_s di belakang *breakwater* turun saat berada 11 km dari laut lepas. Ini adalah bukti nyata bahwa *breakwater* berhasil meredam energi gelombang secara utuh. Zona di belakang *breakwater*, di mana H_s sangat rendah, disebut zona bayangan gelombang.

Penurunan H_s yang sangat ekstrem di balik *breakwater* menunjukkan bahwa energi gelombang yang mencapai garis pantai hampir tidak ada. Hal ini secara efektif mencegah abrasi yang sebelumnya terjadi. Dengan tidak adanya energi gelombang yang merusak, kondisi di belakang *breakwater* menjadi sangat tenang. Lingkungan ini memungkinkan partikel-partikel sedimen yang tersisa untuk mengendap. Seiring waktu, proses ini dapat menyebabkan akresi (penumpukan sedimen) dan membantu menstabilkan, bahkan menambah, luasan garis pantai.

4.5.3 *Breakwater* dari Arah Barat



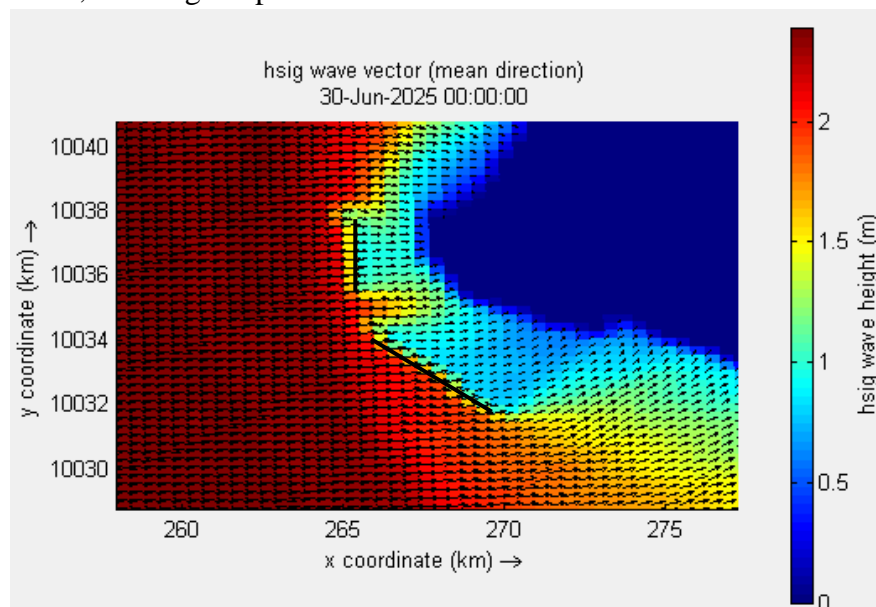
Gambar 4. 34 H_s dengan *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.34 adalah h_s dari arah barat yang menunjukkan gelombang berenergi tinggi (warna merah) mencapai garis pantai secara langsung, menyebabkan abrasi yang parah. Namun, pada **Gambar 4.34**, area dengan H_s tinggi tersebut terhenti secara total di depan kedua *breakwater*. Zona ini ditandai dengan warna biru tua yang pekat, menunjukkan tinggi gelombang yang berkisar antara 0,1–0,3 meter. Ini adalah bukti kuat bahwa energi gelombang dari arah barat yang seharusnya merusak, berhasil diredam secara masif oleh *breakwater* 1 dan *breakwater* 2.

Ketika gelombang berenergi tinggi dari arah barat menghantam *breakwater* 1 dan *breakwater* 2, ia dipaksa untuk pecah di depan struktur. Karena gelombang datang secara frontal, proses pemecahan ini terjadi secara masif di

sepanjang kedua *breakwater*. Ini mendisipasi sebagian besar energi kinetik gelombang menjadi panas dan turbulensi, sehingga energi yang tersisa untuk melewati *breakwater* menjadi sangat minimal. Berbeda dengan gelombang miring, gelombang frontal memiliki difraksi yang minimal di sekitar ujung *breakwater* 1 dan 2. Hal ini membuat zona terlindungi di belakang kedua *breakwater* menjadi lebih homogen dan memiliki H_s yang lebih rendah secara keseluruhan, karena tidak ada energi gelombang yang membengkok dan menyebar dari ujung struktur.

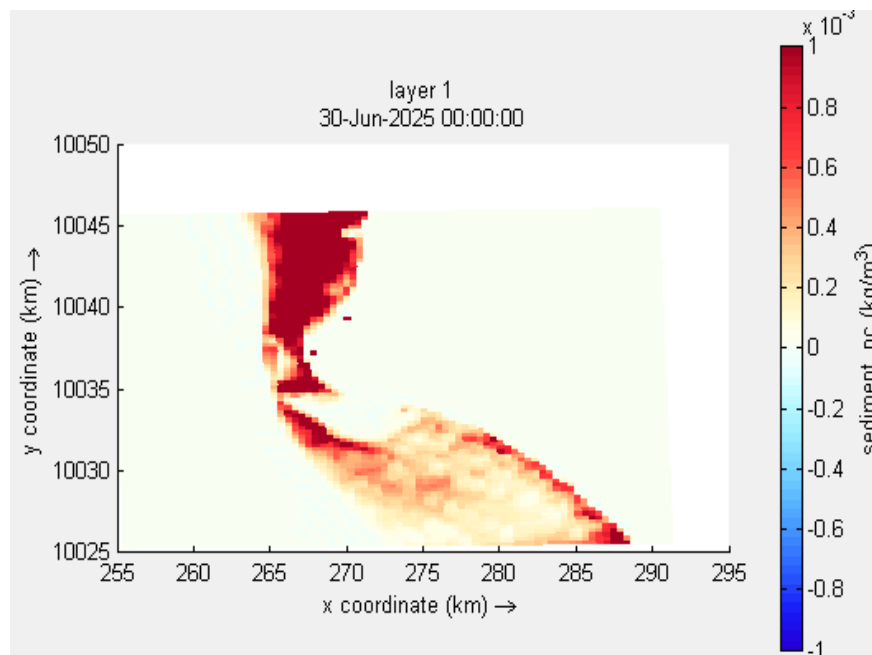
Dengan mengurangi H_s hingga mendekati nol, kedua *breakwater* secara efektif menghentikan abrasi frontal yang menjadi ancaman terbesar bagi garis pantai. Energi yang dilepaskan di depan *breakwater* tidak lagi mengikis garis pantai, sehingga pantai menjadi stabil. Zona yang sangat tenang di belakang kedua *breakwater* menciptakan lingkungan di mana partikel-partikel sedimen yang terbawa oleh arus sisa dapat mengendap. Kondisi ini memungkinkan terjadinya akresi (penumpukan sedimen) dan membantu menstabilkan, bahkan menambah, luasan garis pantai.



Gambar 4.35 Vektor gelombang dengan *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.35 adalah perubahan yang sangat signifikan dibandingkan dengan kondisi alami. Vektor gelombang di perairan terbuka yang datang dari arah barat terlihat panjang dan lurus, mengindikasikan energi yang tinggi. Namun, pola ini berubah drastis setelah gelombang mencapai lokasi kedua

breakwater. Di depan *breakwater* 1 dan *breakwater* 2, vektor gelombang terlihat berhenti atau panjangnya berkurang secara masif. Ini adalah bukti visual yang sangat kuat bahwa energi gelombang telah didisipasi secara efektif oleh kedua struktur tersebut. Di area yang berada tepat di belakang *breakwater* 1 dan *breakwater* 2, vektor gelombang hampir tidak ada. Ini menunjukkan bahwa kedua *breakwater* berhasil menciptakan zona bayangan gelombang yang sangat tenang, di mana energi gelombang yang tersisa sangat minim dan tidak berpotensi merusak. Karena gelombang datang secara tegak lurus terhadap pantai dari arah barat, difraksi yang terjadi sangat minim dibandingkan dengan gelombang yang datang secara miring. Refraksi ini menyebabkan energi gelombang tidak terfokus ke satu titik, melainkan tersebar di sepanjang pantai. Namun, penyebaran ini tidak merata yang membuat vektor bagian selatan lebih kecil. Pantai Tanjung Burung dan bagian tengah pantai kemungkinan besar berada pada jalur utama gelombang yang masuk, sehingga menerima konsentrasi energi yang lebih tinggi. Sebaliknya, bagian selatan berada di ujung dari jalur datangnya gelombang, sehingga hanya menerima sebagian kecil energi yang sudah tersebar. Topografi dasar laut di bagian selatan kemungkinan lebih dangkal. Gelombang miring menciptakan arus litoral yang bergerak dari utara ke selatan. Seiring dengan pergerakannya, energi arus dan gelombang secara bertahap melemah. Bagian selatan berada di area hilang dari sistem transport sedimen ini, di mana energi untuk mengaduk dan mengangkut sedimen sudah sangat rendah. Akibatnya, H_s di area ini juga cenderung lebih rendah.

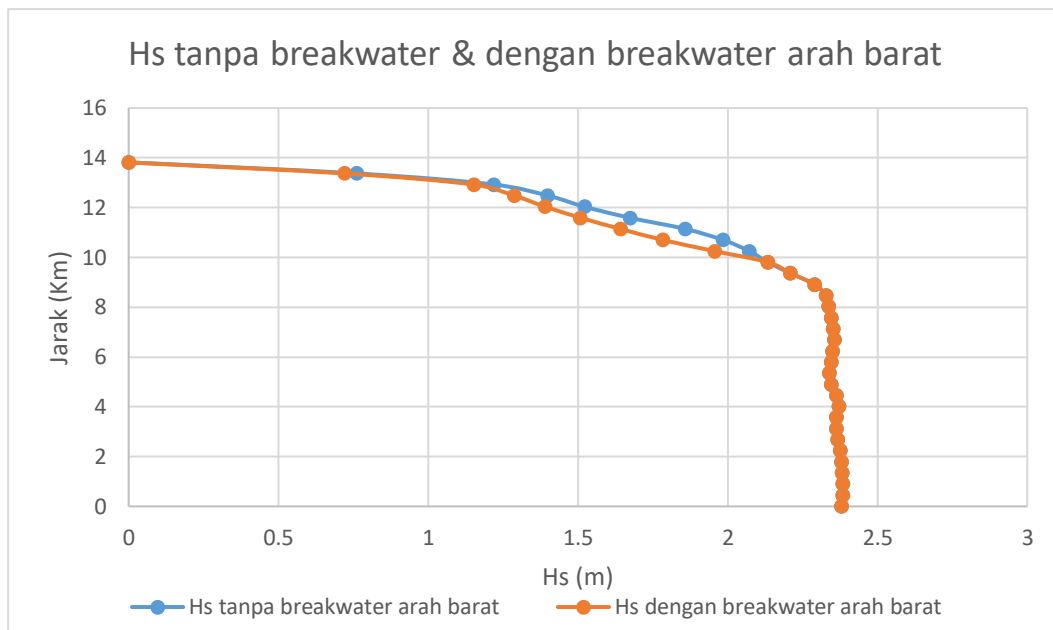


Gambar 4. 36 Sedimentasi dengan *breakwater* dari arah barat

Gambar 4.36 menunjukkan gelombang tegak lurus menyebabkan abrasi parah yang tidak merata. Namun, dengan adanya *breakwater* 1 dan 2, sebagian besar konsentrasi sedimen tinggi (warna merah) kini terfokus di depan kedua *breakwater*. Ini menunjukkan bahwa sedimen yang diangkut oleh gelombang terperangkap sebelum mencapai garis pantai. Zona tenang yang berada tepat di belakang kedua *breakwater*, terlihat zona dengan konsentrasi sedimen yang sangat rendah. Ini adalah bukti visual dari keberhasilan *breakwater* dalam menciptakan zona bayangan gelombang yang sangat efektif, di mana energi gelombang sangat rendah, sehingga sedimen tidak dapat diangkut atau diaduk. Terjadi penumpukan sedimen yang signifikan di belakang *breakwater* 1 dan *breakwater* 2. Sedimen yang terbawa oleh gelombang dengan energi rendah mulai mengendap, secara perlahan akan membentuk tanjung pasir yang menjorok ke arah struktur. Pola ini menunjukkan bahwa kedua *breakwater* tidak hanya menghentikan erosi, tetapi juga memfasilitasi penambahan lahan.

Pada *breakwater* satu berfungsi sebagai penghalang utama yang menghadapi gelombang tegak lurus. Dengan ukurannya yang besar dan letaknya yang strategis, *breakwater* memecah sebagian besar energi gelombang yang datang dari arah barat, mencegahnya mencapai garis pantai. *Breakwater* kedua

bekerja secara sinergis dengan *breakwater* satu. *Breakwater* melindungi area pantai yang tidak tercakup oleh *breakwater* dua, memastikan bahwa seluruh segmen garis pantai terlindungi dari serangan tegak lurus. Keberadaan kedua *breakwater* ini secara berdekatan menciptakan zona bayangan gelombang yang lebih luas dan homogen, memastikan perlindungan yang maksimal.

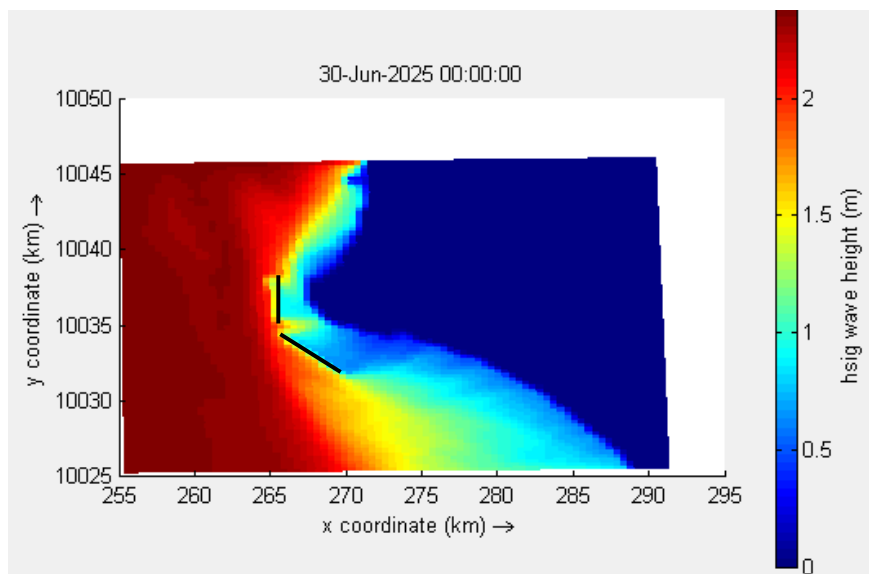


Gambar 4. 37 Grafik perbandingan hs tanpa *breakwater* dan dengan *breakwater* arah barat

Gambar 4.37 menunjukkan garis biru, Hs mencapai nilai tertinggi di perairan lepas (sekitar 2,4 meter) dan mulai menurun secara bertahap saat mendekati pantai. Penurunan ini disebabkan oleh proses shoaling dan gelombang pecah yang terjadi secara alami. Meskipun terjadi penurunan, Hs yang mencapai garis pantai masih cukup tinggi dan berenergi besar, yang menjadi penyebab utama abrasi vertikal yang parah. Sedangkan garis oranye menunjukkan pola yang sangat berbeda. Hs mulai menurun drastis jauh sebelum mencapai garis pantai, tepatnya di lokasi penempatan *breakwater*. Nilai Hs di belakang *breakwater* turun hingga mendekati nol, dengan nilai sekitar 0,5–0,8 meter. Ini adalah bukti nyata bahwa *breakwater* berhasil meredam energi gelombang secara masif. Zona di belakang *breakwater*, di mana Hs sangat rendah, disebut zona bayangan gelombang (*wave shadow zone*).

Penurunan Hs yang ekstrem di balik *breakwater* menunjukkan bahwa energi gelombang yang mencapai garis pantai hampir tidak ada. Kondisi ini secara efektif menghentikan abrasi frontal yang sebelumnya menjadi ancaman terbesar. Kondisi yang sangat tenang di belakang *breakwater* memungkinkan partikel-partikel sedimen yang terbawa oleh arus sisa untuk mengendap. Proses ini dapat menyebabkan akresi (penumpukan sedimen) yang membantu menstabilkan, bahkan menambah, luasan garis pantai.

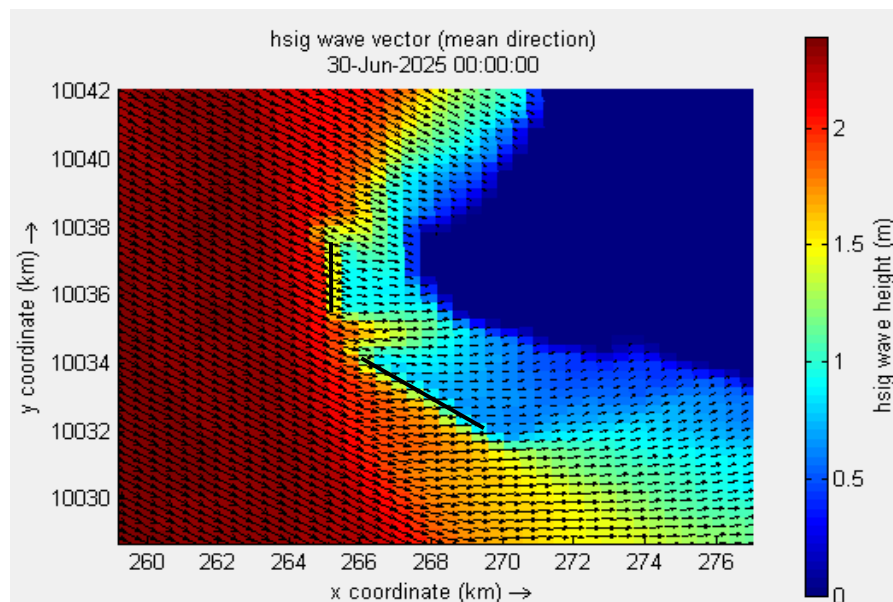
4.5.4 Breakwater dari Arah Barat Laut



Gambar 4. 38 Hs dengan *breakwater* dari arah barat laut

Gambar 4.38 menunjukkan sama seperti hs sebelumnya, hs dari barat laut juga menunjukkan penurunan drastis setelah adanya *breakwater*. Akan tetapi dibelakang *breakwater* gelombang dominan berada dibawah 0,5 meter karena sudut datangnya gelombang tidak lurus terhadap *breakwater* sehingga sebagian energi gelombang dipantulkan ke laut terbuka dan sebagian lagi diserap dan di pecah oleh *breakwater* yang membuat belakang *breakwater* lebih luas dan tenang. Ketika gelombang berenergi tinggi dari barat laut menghantam *breakwater* 1 dan *breakwater* 2, gelombang tersebut dipaksa untuk pecah di depan struktur. Proses ini mengubah energi kinetik gelombang menjadi panas dan turbulensi, sehingga energi yang tersisa untuk melewati *breakwater* menjadi sangat minim. *Breakwater* satu berfungsi sebagai penghalang utama, meredam sebagian besar energi yang datang langsung dari barat laut. Sementara itu, *breakwater* dua bekerja secara sinergis untuk melindungi area pantai yang tidak tercakup oleh *breakwater* satu, memastikan seluruh segmen garis pantai mendapatkan perlindungan maksimal. Karena gelombang datang dari arah yang miring, terjadi sedikit pembelokan energi gelombang di sekitar ujung *breakwater*, sebuah fenomena yang dikenal sebagai difraksi. Namun, gelombang yang terdifraksi ini memiliki energi yang sangat rendah sehingga tidak menimbulkan ancaman abrasi yang signifikan di area terlindungi.

Hs pada bagian selatan lebih rendah dibanding hs di pantai Tanjung Burung karena gelombang yang datang secara miring dari barat laut mengalami refraksi saat memasuki perairan dangkal, yang menyebabkan energi gelombang tidak terfokus ke satu titik melainkan tersebar. Pantai Tanjung Burung dan bagian tengah berada pada jalur utama gelombang yang masuk, sehingga menerima konsentrasi energi yang lebih tinggi. Sebaliknya, bagian selatan berada di ujung dari jalur datangnya gelombang, sehingga secara alami hanya menerima sebagian kecil energi yang sudah tersebar. Serta pengaruh morfologi dasar laut juga menjadi alasan mengapa hs bagian selatan lebih kecil di banding pantai Tanjung Burung.

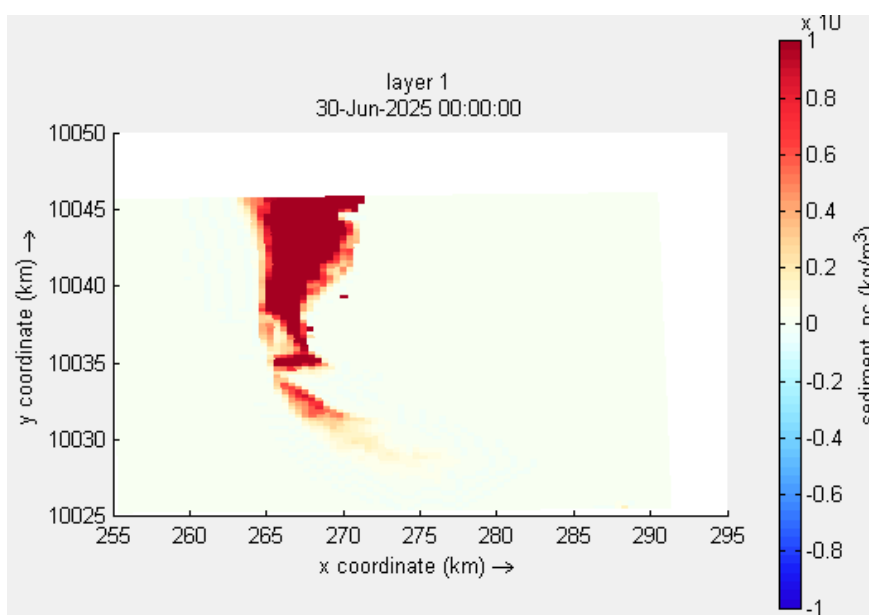


Gambar 4. 39 Vektor gelombang dengan *breakwater* dari arah barat laut

Pada **Gambar 4.39** vektor gelombang menunjukkan menunjukkan perubahan yang sangat signifikan dibandingkan dengan kondisi alami. Di perairan terbuka, vektor gelombang terlihat panjang dan mengarah miring dari barat laut, mengindikasikan energi yang tinggi. Namun, pola ini berubah drastis setelah gelombang mencapai lokasi kedua *breakwater*. Di depan *breakwater* satu dan *breakwater* dua, vektor gelombang terlihat berhenti atau panjangnya sangat berkurang. Ini adalah bukti visual yang kuat bahwa energi gelombang telah didisipasi secara efektif oleh kedua struktur tersebut. Di area yang berada tepat di belakang *breakwater* satu dan *breakwater* dua, vektor gelombang hampir tidak ada atau ukurannya sangat pendek. Ini menunjukkan bahwa kedua *breakwater*

berhasil menciptakan zona bayangan gelombang yang sangat tenang, di mana energi gelombang yang tersisa sangat minim dan tidak berpotensi merusak. Karena gelombang datang secara miring dari arah barat laut, terjadi difraksi (pembelokan) gelombang di sekitar ujung kedua *breakwater*. Efek ini terlihat dari sedikit vektor gelombang yang membengkok di area tersebut. Namun, energi yang terbawa oleh gelombang yang terdifraksi ini sangat rendah dan tidak menimbulkan ancaman abrasi yang signifikan.

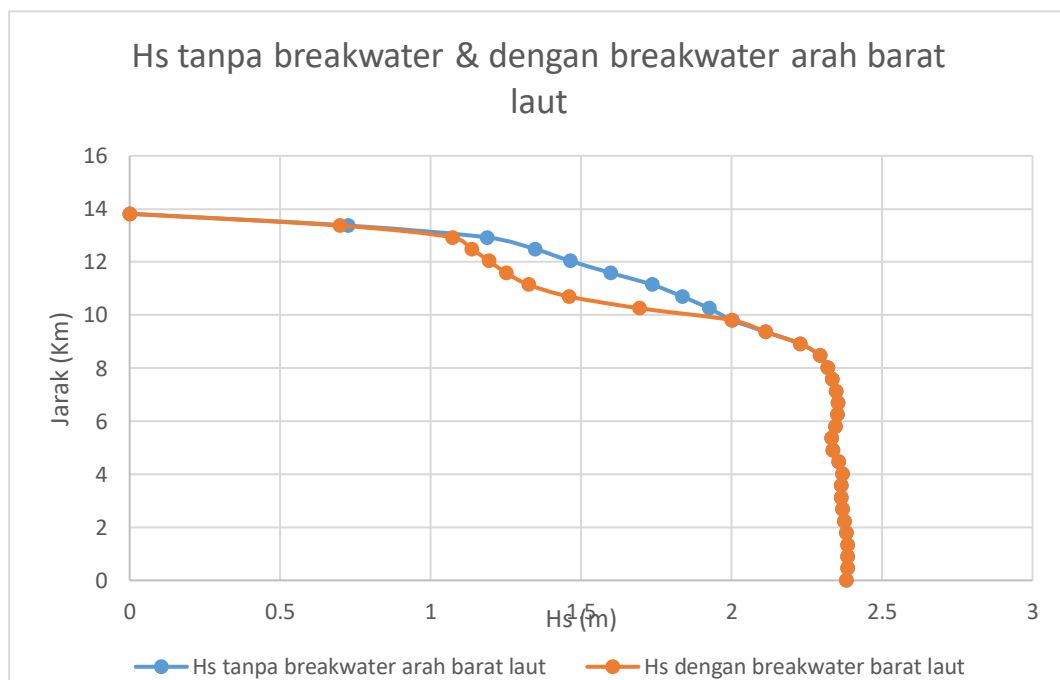
Gelombang berenergi tinggi dari arah barat laut dipaksa untuk pecah secara substansial di depan *breakwater* satu dan dua. Proses ini mengubah energi kinetik gelombang menjadi energi turbulensi dan panas, sehingga sebagian besar energinya hilang sebelum mencapai pantai. Kedua *breakwater* berfungsi sebagai penghalang fisik yang solid. *breakwater* satu meredam sebagian besar gelombang yang datang langsung dari barat laut, sementara *breakwater* dua melindungi area pantai yang tidak tercakup oleh *breakwater* satu. Kerja sinergis ini memastikan perlindungan maksimal di seluruh segmen garis pantai.



Gambar 4. 40 Sedimentasi dengan *breakwater* dari arah barat laut

Gambar 4.40 menunjukkan dari arah barat laut distribusi sedimen yang cenderung menumpuk di sisi utara *breakwater*. Gelombang datang dari arah barat laut, menciptakan arus sejajar pantai yang bergerak dari utara ke selatan. Sedimen yang diangkut oleh arus ini berasal dari utara. *Breakwater* satu dan dua diletakkan

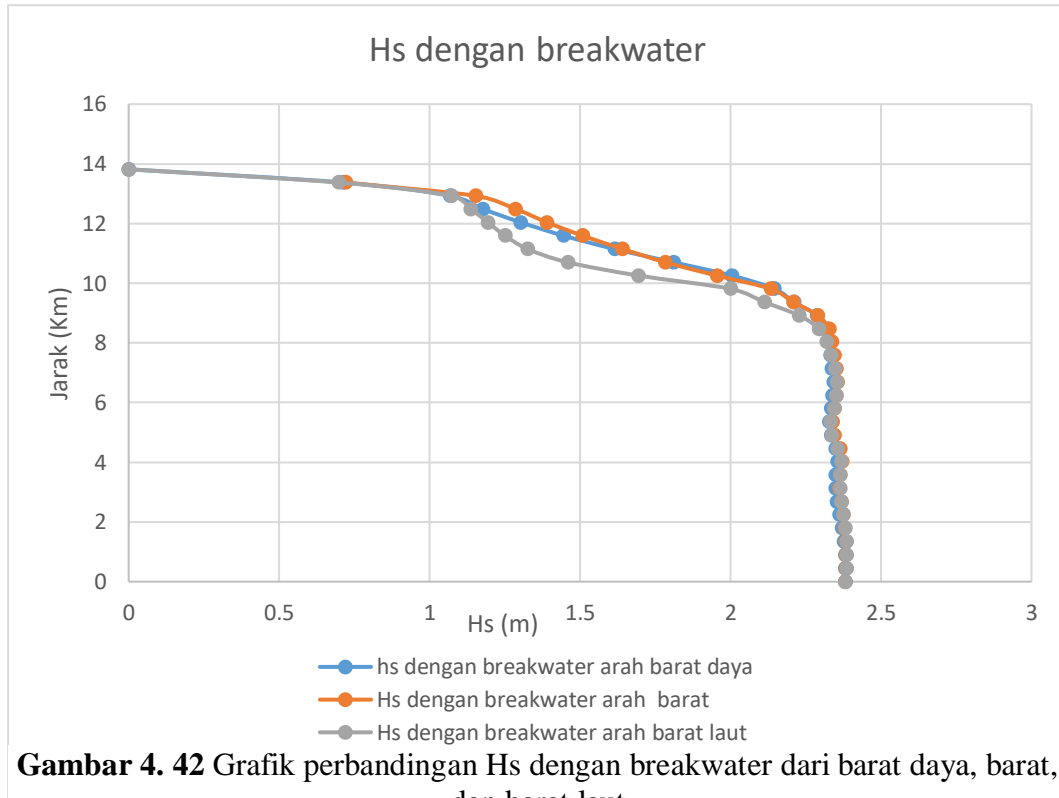
di bagian tengah dan utara pantai, di jalur utama pergerakan sedimen ini. Struktur ini secara efektif menjebak sedimen yang sedang diangkut oleh arus sejajar pantai, sehingga sedimen tersebut menumpuk di area di belakangnya. Sebaliknya, bagian selatan pantai berada di ujungalasan dari jalur datangnya gelombang dan pergerakan sedimen ini. Gelombang dan arus yang mencapai area ini sudah kehilangan sebagian besar energinya, baik secara alami maupun akibat pengaruh breakwater. Oleh karena itu, energi untuk membawa sedimen sudah sangat rendah. Sedimen yang terbawa dari utara sudah lebih dulu mengendap di belakang breakwater, sehingga tidak ada material sedimen yang tersisa untuk diangkut dan ditumpuk di bagian selatan. Kondisi ini membuat bagian selatan pantai cenderung stabil dan memiliki konsentrasi sedimen yang rendah.



Gambar 4. 41 Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dan dengan breakwater arah barat laut

Gambar 4.41 menunjukkan hs dari arah barat laut. Pada garis biru, Hs mencapai puncaknya di perairan lepas dan mulai menurun secara bertahap saat mendekati pantai. Penurunan ini adalah akibat dari proses shoaling dan refraksi gelombang yang menyebabkan gelombang pecah. Meskipun terjadi penurunan, Hs yang mencapai garis pantai masih cukup tinggi dan berenergi besar, menjadi penyebab utama abrasi dan transport sedimen lateral yang signifikan. Garis merah menunjukkan pola yang sangat berbeda. Hs mulai menurun drastis jauh

sebelum mencapai garis pantai, tepatnya di lokasi penempatan breakwater. Nilai H_s di belakang breakwater turun hingga mendekati nol (sekitar 0,1–0,3 meter). Ini adalah bukti nyata bahwa *breakwater* berhasil meredam energi gelombang secara masif. Zona di belakang *breakwater*, di mana H_s sangat rendah, disebut zona bayangan gelombang (*wave shadow zone*).



Gambar 4. 42 Grafik perbandingan H_s dengan breakwater dari barat daya, barat, dan barat laut

Gambar 4.42 menunjukkan perbandingan tinggi gelombang signifikan (H_s) dengan breakwater pada tiga arah gelombang yang berbeda, yaitu arah barat, barat laut, dan barat daya. Jika dilihat, hasil H_s untuk kondisi dengan breakwater berkisar antara 2,4 meter di bagian laut lepas dan menurun hingga sekitar 1,0 – 1,2 meter saat mendekati pantai.

Jika dilihat dari arah datang gelombang, gelombang dari arah barat laut mengalami peredaman paling besar. Penurunan tinggi gelombang pada arah ini lebih cepat dan lebih tajam di banding dari arah lain yang menandakan bahwa gelombang dari arah barat laut paling efektif dihalangi oleh *breakwater*. Gelombang dari arah barat menunjukkan peredaman cukup baik dan stabil, namun sedikit lebih rendah disbanding arah barat laut. Sementara itu, gelombang dari arah barat daya memiliki tingkat redaman paling kecil diantara ketiganya. Hal

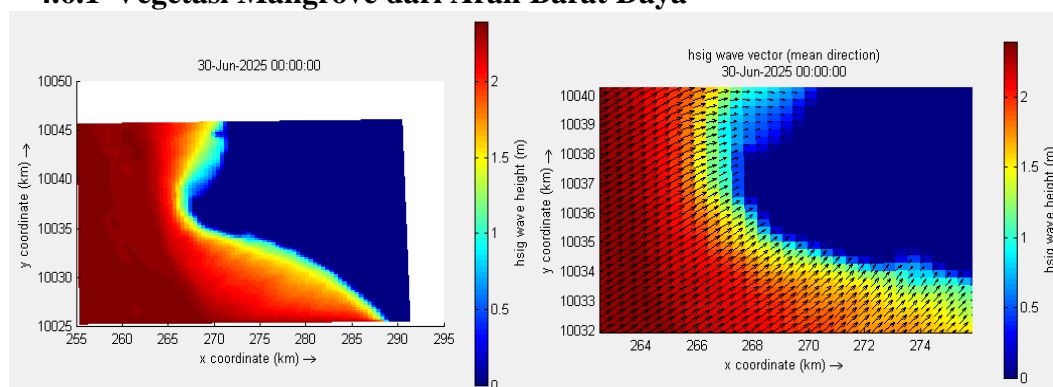
ini kemungkinan disebabkan oleh sudut datang gelombang yang lebih miring, sehingga sebagian energi dapat mengitari atau melewati ujung *breakwater*. Perbedaan yang jelas terlihat adalah bahwa dengan adanya *breakwater*, penurunan tinggi gelombang signifikan (H_s) terjadi lebih awal dan lebih cepat dibandingkan kondisi alami. Ini menandakan bahwa *breakwater* berfungsi sebagai penghalang yang memecah energi gelombang lebih jauh dari garis pantai, sehingga gelombang yang masuk ke area belakang *breakwater* sudah jauh berkurang energinya. Efek ini paling terlihat pada arah gelombang barat laut, di mana redaman gelombang paling signifikan dibandingkan dua arah lainnya.

4.6 Hasil Dengan Vegetasi Mangrove

Pada simulasi dengan vegetasi mangrove, distribusi sedimen terlihat mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan dengan dua simulasi sebelumnya, yaitu kondisi alami tanpa pelindung dan kondisi dengan struktur *breakwater*. Distribusi sedimen pada kondisi alami menunjukkan bahwa gelombang memiliki kekuatan penuh saat mencapai pantai, sehingga terjadi erosi di beberapa titik dan sedimentasi yang tidak merata. Pada simulasi dengan *breakwater*, meskipun terjadi redaman gelombang di area belakang struktur, pola sedimentasi cenderung terkonsentrasi dan terperangkap di zona terlindung, sementara bagian lain tetap mengalami pengikisan.

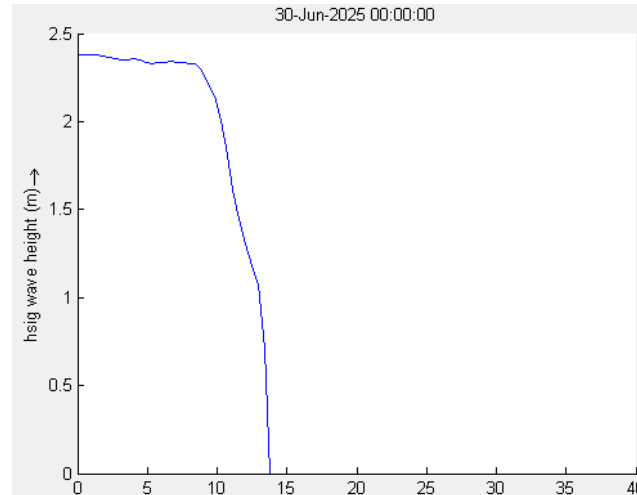
Berbeda dengan kedua kondisi tersebut, simulasi dengan vegetasi mangrove memperlihatkan pola sedimentasi yang lebih luas dan alami. Area vegetasi yang luas, yaitu sekitar 49 km², memberikan ruang penyerapan energi gelombang dan memperluas area pengendapan sedimen.

4.6.1 Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Daya



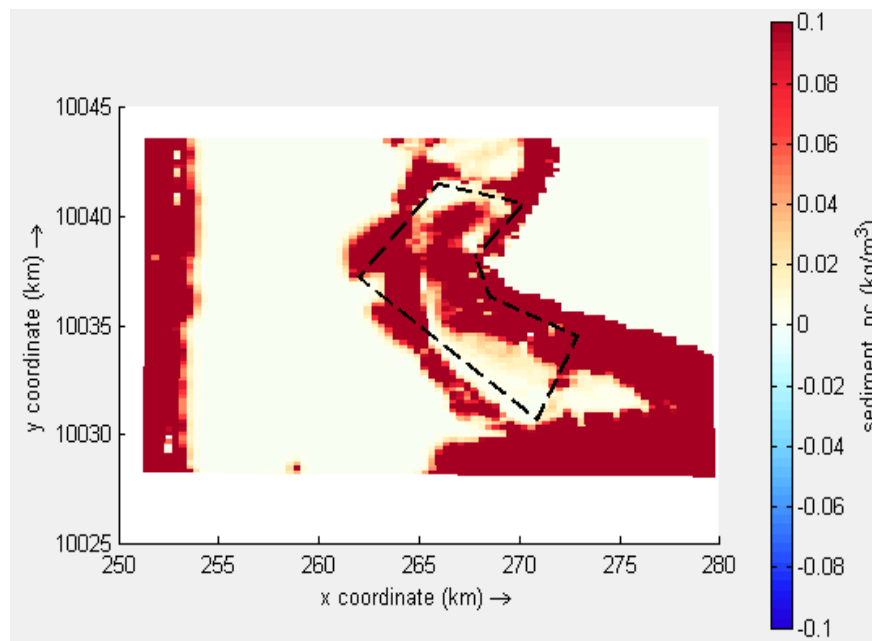
Gambar 4. 43 Hs dan vektor gelombang vegetasi mangrove arah barat daya

Gambar 4.43 menunjukkan kemiripan antara tinggi gelombang signifikan (H_s) dan vektor gelombang dari vegetasi mangrove arah barat daya dengan tanpa breakwater dari arah barat daya. Penurunan H_s terjadi secara perlahan mengikuti arah gelombang dan topografi kedalaman.



Gambar 4. 44 Grafik H_s vegetasi mangrove dari arah barat daya

Gambar 4.44 menunjukkan grafik penurunan tinggi gelombang signifikan (H_s) pada vegetasi mangrove dari arah barat daya yang sama dengan tanpa *breakwater* dari arah barat daya. H_s tertinggi berada pada kisaran 2,4 meter di laut lepas yang kemudian menurun menjadi 1,3 meter saat 10 km mendekati pantai.

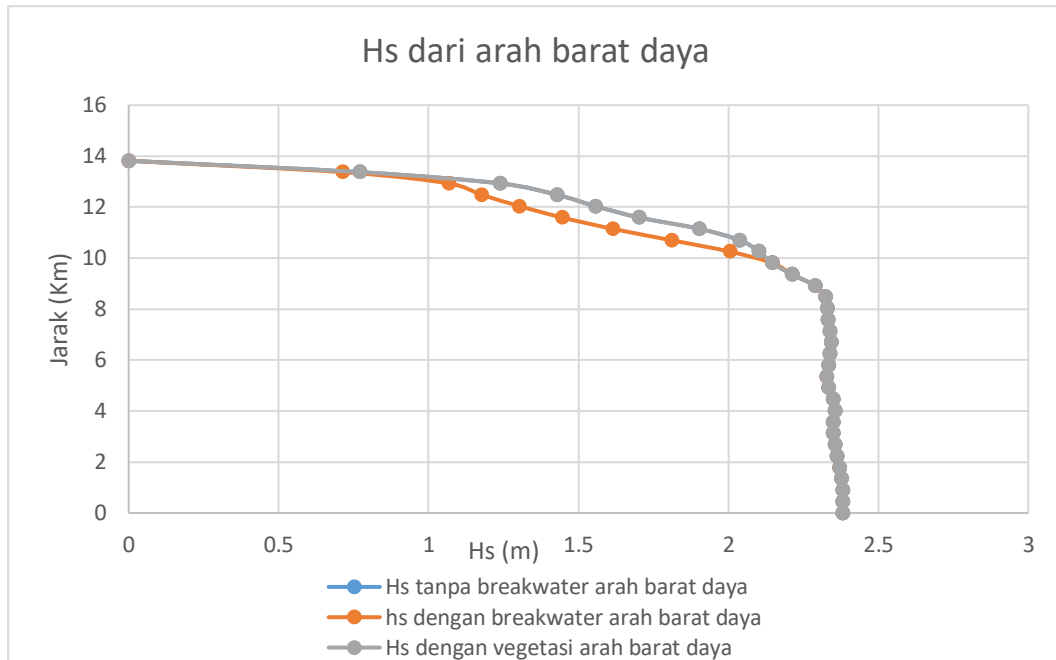


Gambar 4. 45 Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat daya

Gambar 4.45 memperlihatkan perbedaan yang mencolok dari kondisi alami tanpa perlindungan. Pada kondisi alami, gelombang berenergi tinggi menyebabkan transport sedimen yang luas dan seringkali memicu erosi. Namun, dengan adanya mangrove, pola sedimentasi menjadi lebih teratur dan terkonsentrasi di area vegetasi. Peta sedimentasi menunjukkan konsentrasi sedimen tertinggi berada di dalam dan di depan area mangrove. Warna-warna yang lebih pekat (menunjukkan konsentrasi tinggi) terlihat tersebar di seluruh area mangrove, bukan terpusat di satu titik. Pola ini mengindikasikan bahwa vegetasi mangrove secara efektif memerangkap sedimen yang terbawa oleh gelombang dan arus. Vegetasi mangrove berfungsi sebagai peredam gelombang alami. Batang, cabang, dan sistem perakaran yang padat menciptakan hambatan fisik yang memperlambat gelombang dan mengurangi energinya secara bertahap. Gelombang yang berenergi tinggi dari barat daya dipaksa untuk melepaskan sebagian besar energinya di dalam area mangrove. Mekanisme peredaman energi gelombang ini secara langsung memengaruhi transport sedimen. Saat energi gelombang menurun, kemampuannya untuk mengangkut partikel sedimen juga berkurang. Hal ini menyebabkan sedimen yang melayang (suspensi) di dalam air mulai mengendap di antara akar-akar mangrove. Sistem perakaran mangrove yang kompleks dan padat bertindak seperti filter yang secara fisik memerangkap partikel sedimen. Keberadaan vegetasi mangrove juga mengurangi kecepatan arus. Gelombang miring dari barat daya menciptakan arus litoral yang kuat pada kondisi alami, tetapi mangrove mengganggu aliran ini dan melemahkannya. Dengan arus yang lebih lemah, sedimen cenderung tidak diangkut jauh, melainkan mengendap di tempatnya, yang pada akhirnya menstabilkan sedimen dasar laut.

Sedimentasi yang terdistribusi secara merata di area mangrove memiliki implikasi jangka panjang yang sangat positif. Dengan memerangkap sedimen, vegetasi mangrove secara efektif mencegah erosi. Sedimen yang mengendap di antara akar-akar mangrove berfungsi sebagai perlindungan alami bagi garis pantai, menjaga material pantai agar tidak tersapu ke laut. Penumpukan sedimen yang terus-menerus di area mangrove secara perlahan dapat membentuk dan menstabilkan lahan baru di sepanjang garis pantai. Proses ini sangat penting

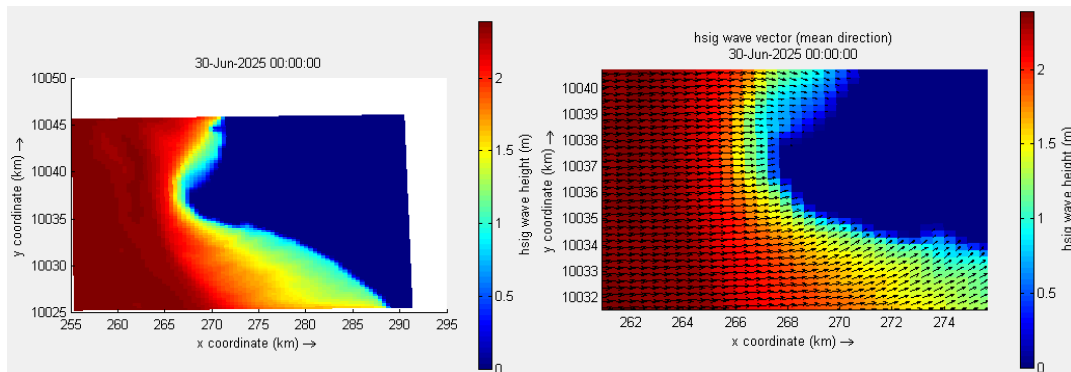
untuk melawan abrasi yang disebabkan oleh kenaikan permukaan air laut. Selain manfaat fisik, vegetasi mangrove juga menyediakan habitat bagi berbagai biota laut, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan berkontribusi pada keseimbangan ekosistem pesisir. Ini menjadikan penanaman mangrove sebagai solusi perlindungan pantai yang berkelanjutan dan berbasis alam.



Gambar 4. 46 Grafik perbandingan hs tanpa *breakwater* dan dengan vegetasi arah barat daya

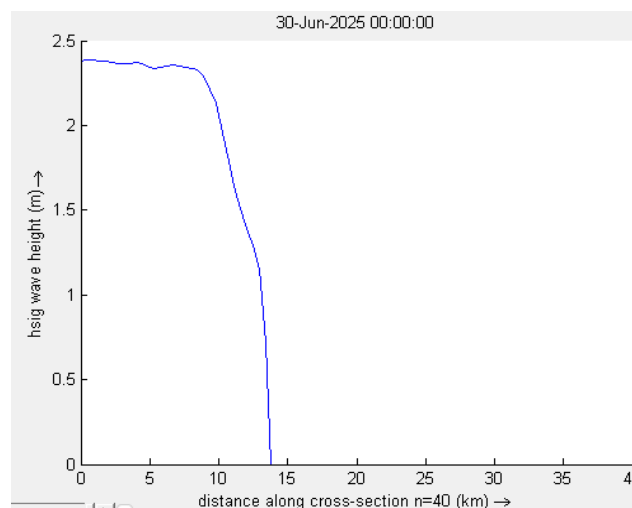
Gambar 4. 46 menunjukkan perbandingan Hs tanpa *breakwater* dan dengan vegetasi mangrove dari arah barat daya. Grafik tersebut sama dengan grafik tanpa *breakwater* dari arah barat daya. Garis berwarna oranye adalah kondisi adanya *breakwater* dan garis berwarna abu-abu adalah kondisi adanya vegetasi mangrove sedangkan berwarna biru tertutup oleh abu-abu karena penurunan hs tanpa *breakwater* dan vegetasi itu sama. Dari garis biru tersebut dapat kita lihat gelombang menurun secara perlahan dengan peredaman alami yang dipengaruhi oleh kedalaman, semetara itu garis berwarna oranye gelombang menurun secara tajam dan perlahan karena adanya vegetasi mangrove yang mengurangi energi gelombang yang datang sebelum gelombang mencapai garis pantai.

4.6.2 Vegetasi Mangrove dari Arah Barat



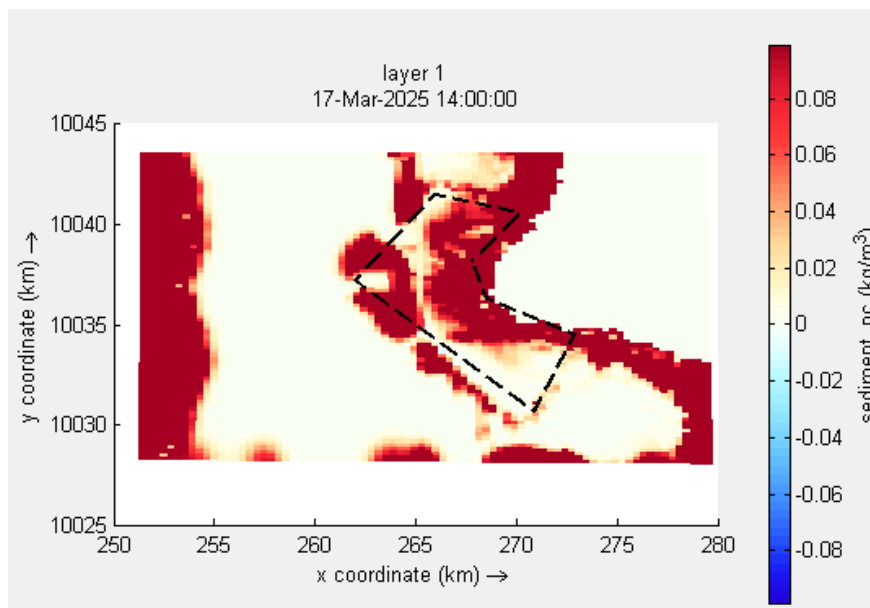
Gambar 4. 47 Hs dan vektor gelombang vegetasi mangrove dari arah barat

Gambar 4.47 menunjukkan hal yang sama seperti vegetasi mangrove dari arah barat daya. Vegetasi mangrove dari arah barat juga mirip dengan tanpa *breakwater* dari arah barat yang mana nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) berada pada 2,4 meter yang menurun secara perlahan karena pengaruh arah gelombang dan topografi kedalaman.



Gambar 4. 48 Grafik hs vegetasi mangrove dari arah barat

Gambar 4.48 menunjukkan tinggi gelombang signifikan (H_s) dari arah barat. Tinggi gelombang tertinggi berada pada kisaran 2,4 meter yang berada di laut lepas yang kemudian menurun perlahan saat berada di 10 km mendekati Pantai.

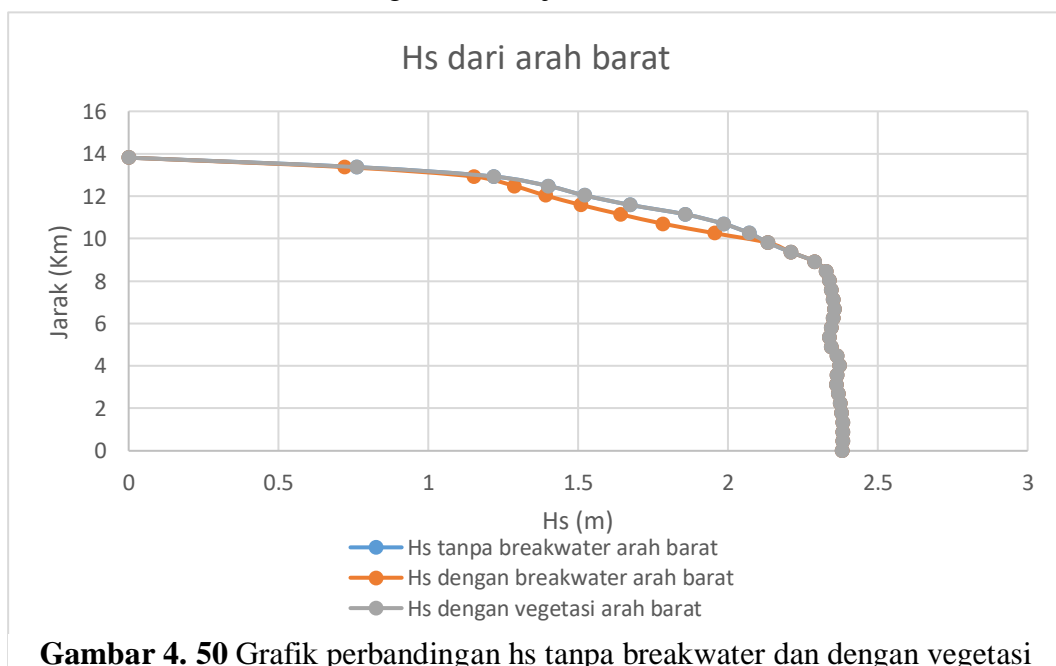


Gambar 4. 49 Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat

Gambar 4.49 menunjukkan bahwa sedimen tidak hanya terdorong ke daratan tetapi juga terperangkap secara efektif di dalam area vegetasi mangrove. Konsentrasi sedimen yang lebih tinggi terlihat tersebar merata di seluruh zona mangrove, mengindikasikan bahwa sistem perakaran yang padat bertindak sebagai filter alami. Pola ini sangat berbeda dengan kondisi alami di mana gelombang berenergi tinggi menyebabkan transport sedimen yang luas dan seringkali memicu erosi, baik secara frontal maupun lateral. Dengan adanya mangrove, material sedimen tidak lagi diangkut bebas, melainkan menumpuk di tempatnya, yang menstabilkan sedimen dasar laut. Pola sedimentasi ini adalah hasil langsung dari interaksi antara gelombang, vegetasi mangrove, dan sedimen. Vegetasi mangrove berfungsi sebagai peredam gelombang alami. Batang, cabang, dan sistem perakaran yang padat menciptakan hambatan fisik yang secara bertahap mengurangi energi gelombang, mengubahnya menjadi turbulensi. Saat energi gelombang menurun, kemampuannya untuk mengangkut partikel sedimen juga berkurang, menyebabkan sedimen yang melayang di dalam air mulai mengendap di antara akar-akar mangrove. Sistem perakaran yang kompleks ini secara fisik memerangkap partikel-partikel sedimen, mencegahnya tersapu kembali ke laut.

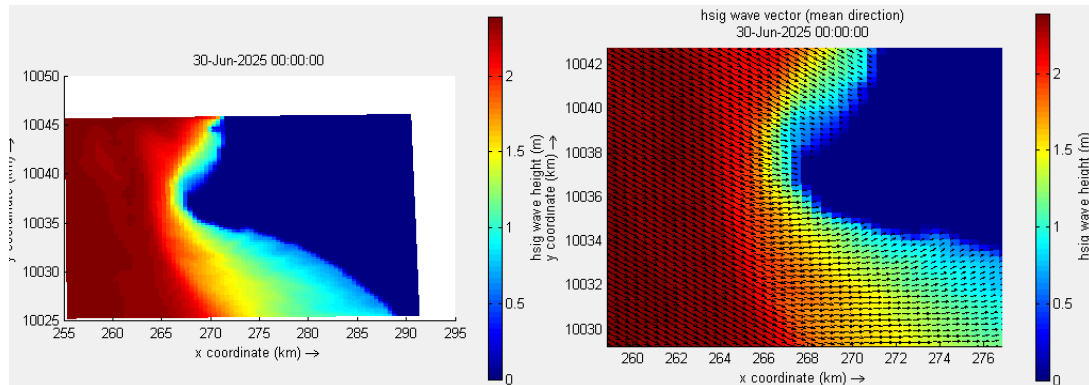
Selain itu, keberadaan vegetasi mangrove juga mengurangi kecepatan arus. Meskipun gelombang datang tegak lurus dari barat, interaksi gelombang dengan

struktur akar mangrove menyebabkan perlambatan arus secara signifikan. Dengan arus yang lebih lemah, sedimen cenderung mengendap di tempatnya, yang pada akhirnya menjaga kestabilan sedimen di dasar laut dan di sepanjang garis pantai. Pola sedimentasi yang terdistribusi secara merata di area mangrove memiliki implikasi jangka panjang yang sangat positif. Dengan memerangkap sedimen, vegetasi mangrove secara efektif mencegah erosi. Sedimen yang mengendap berfungsi sebagai perlindungan alami bagi garis pantai, menjaga material pantai agar tidak tersapu ke laut. Penumpukan sedimen yang terus-menerus di area ini secara perlahan dapat membentuk dan menstabilkan lahan baru, sebuah proses yang sangat penting untuk mengatasi abrasi yang disebabkan oleh gelombang dan kenaikan permukaan air laut. Kesimpulannya, vegetasi mangrove dinilai lebih sesuai sebagai perlindungan pantai karena mampu meredam gelombang secara alami, menjaga kestabilan sedimentasi, dan memberikan manfaat ekologis berkelanjutan.



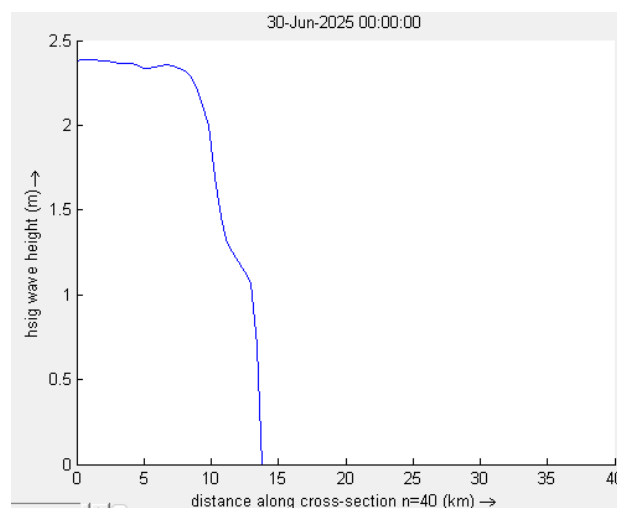
Gambar 4.50 menunjukkan nilai hs sekitar 2,4 meter di awal baik tanpa *breakwater* maupun dengan vegetasi mangrove. Grafik tersebut sama dengan grafik dengan tanpa breakwater dari arah barat yang mana tanpa *breakwater* turun secara bertahap sedangkan dengan adanya vegetasi penurunan gelombang terjadi hal yang sama.

4.6.3 Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Laut



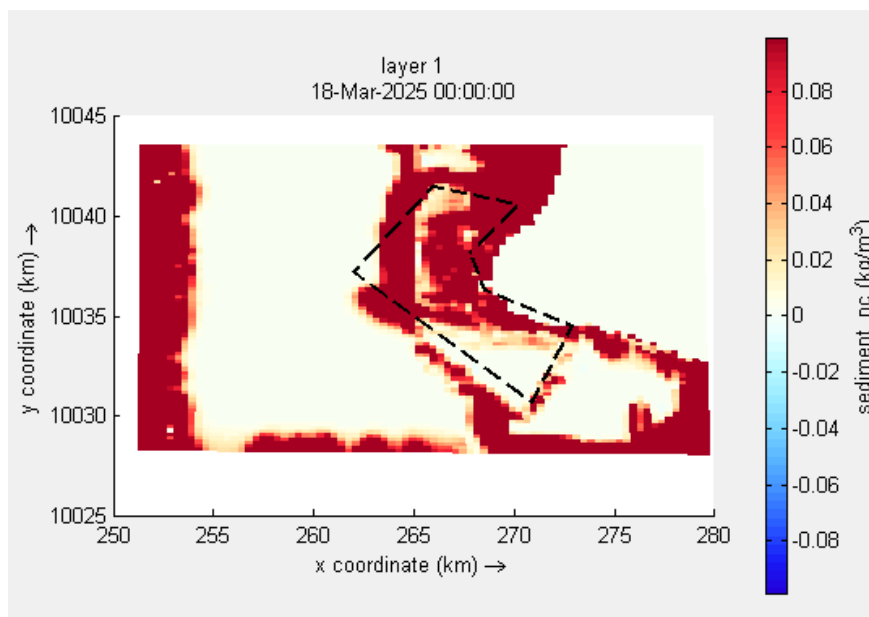
Gambar 4. 51 Hs dan vector gelombang vegetasi mangrove arah barat laut

Gambar 4.51 menunjukkan hal yang sama seperti tanpa *breakwater* dari arah barat laut. Dapat dilihat dari arah barat laut ini penurunan tinggi gelombang signifikan menurun secara perlahan akan tetapi pada bagian selatan hs lebih rendah dibandingkan pada bagian pantai. Hal tersebut disebabkan gelombang yang datang secara miring dari arah barat laut mengalami refraksi saat memasuki perairan dangkal. Refraksi ini menyebabkan energi gelombang tersebar secara tidak merata. Pantai bagian tengah menerima konsentrasi energi yang lebih tinggi karena berada pada jalur utama gelombang. Sebaliknya, bagian selatan berada di ujung dari jalur datangnya gelombang, sehingga secara alami menerima energi yang lebih rendah. Topografi dasar laut di bagian selatan mungkin lebih dangkal atau memiliki kontur yang berbeda, yang menyebabkan gesekan dasar laut (*bottom friction*) lebih dominan. Gesekan ini secara alami sudah meredam sebagian energi gelombang bahkan sebelum mencapai zona mangrove.



Gambar 4. 52 Grafik hs vegetasi mangrove arah barat laut

Gambar 4.52 menunjukkan grafik tinggi gelombang signifikan (H_s) vegetasi mangrove dari arah barat laut. Gambar grafik tersebut dapat dilihat perbedaannya dari gambar grafik sebelumnya dari arah barat daya dan dari arah barat. Tinggi gelombang signifikan (H_s) yang semulanya 2,4 meter yang kemudian menurun menjadi 1 meter disaat gelombang berada pada 8 km dari Pantai.

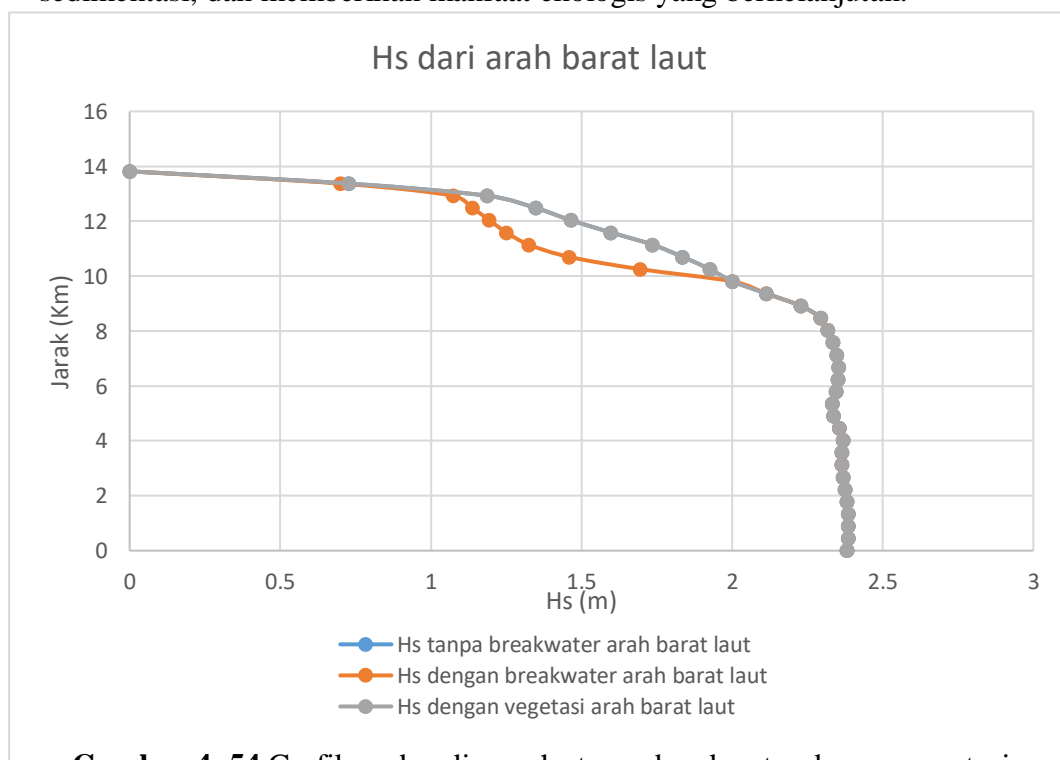


Gambar 4. 53 Sedimen vegetasi mangrove dari arah barat laut

Gambar 4.53 menunjukkan bahwa sedimen tidak hanya terdorong ke daratan tetapi juga terperangkap secara efektif di dalam area vegetasi mangrove. Konsentrasi sedimen yang lebih tinggi terlihat tersebar merata di seluruh zona mangrove, mengindikasikan bahwa sistem perakaran yang padat bertindak sebagai filter alami. Pola ini sangat berbeda dengan kondisi alami di mana gelombang berenergi tinggi menyebabkan transport sedimen yang luas dan seringkali memicu erosi, baik secara frontal maupun lateral. Dengan adanya mangrove, material sedimen tidak lagi diangkut bebas, melainkan menumpuk di tempatnya, yang menstabilkan sedimen dasar laut. Vegetasi mangrove berfungsi sebagai peredam gelombang alami. Batang, cabang, dan sistem perakaran yang padat menciptakan hambatan fisik yang secara bertahap mengurangi energi gelombang, mengubahnya menjadi turbulensi. Saat energi gelombang menurun, kemampuannya untuk mengangkut partikel sedimen juga berkurang, menyebabkan sedimen yang melayang di dalam air mulai mengendap di antara

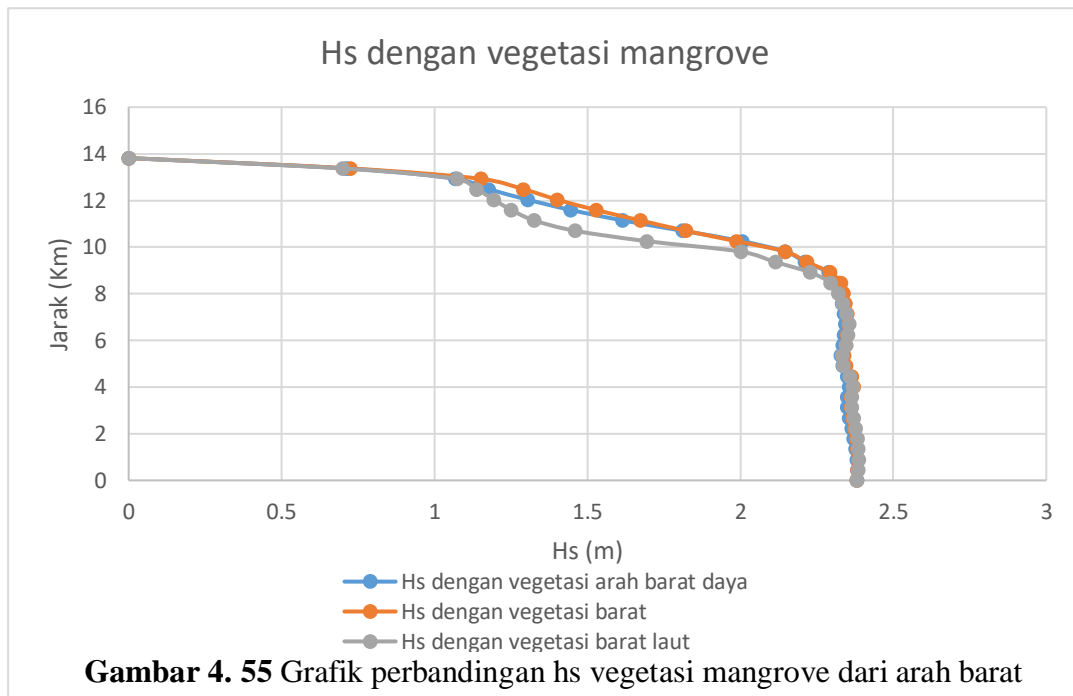
akar-akar mangrove. Sistem perakaran yang kompleks ini secara fisik memerangkap partikel-partikel sedimen, mencegahnya tersapu kembali ke laut.

Selain itu, keberadaan vegetasi mangrove juga mengurangi kecepatan arus. Gelombang miring dari barat laut menciptakan arus litoral yang bergerak dari utara ke selatan pada kondisi alami. Mangrove mengganggu aliran ini dan melemahkannya. Dengan arus yang lebih lemah, sedimen cenderung mengendap di tempatnya, yang pada akhirnya menjaga kestabilan sedimen di dasar laut dan di sepanjang garis pantai. Pola sedimentasi yang terdistribusi secara merata di area mangrove memiliki implikasi jangka panjang yang sangat positif. Dengan memerangkap sedimen, vegetasi mangrove secara efektif mencegah erosi. Sedimen yang mengendap berfungsi sebagai perlindungan alami bagi garis pantai, menjaga material pantai agar tidak tersapu ke laut. Penumpukan sedimen yang terus-menerus di area ini secara perlahan dapat membentuk dan menstabilkan lahan baru, sebuah proses yang sangat penting untuk mengatasi abrasi yang disebabkan oleh gelombang dan kenaikan permukaan air laut. Kesimpulannya, vegetasi mangrove dinilai sebagai solusi perlindungan pantai yang ideal karena mampu meredam gelombang secara alami, menjaga kestabilan sedimentasi, dan memberikan manfaat ekologis yang berkelanjutan.



Gambar 4. 54 Grafik perbandingan hs tanpa breakwater dengan vegetasi mangrove arah barat laut

Gambar 4.54 menunjukkan perbandingan h_s tanpa *breakwater* dan dengan vegetasi mangrove dari arah barat laut. Grafik tersebut juga sama dengan grafik dengan adanya *breakwater*. Dari arah ini lebih terlihat jelas penurunannya lebih tajam dan cepat di banding dari arah-arah sebelumnya. Hal ini dikarenakan sudut datang gelombang yang lebih miring, sehingga sebagian energi lebih tertahan pada bagian atas atau bagian utara pantai.



Gambar 4. 55 Grafik perbandingan h_s vegetasi mangrove dari arah barat daya, arah barat dan barat laut

Gambar 4.55 menunjukkan nilai h_s vegetasi mangrove dari 3 arah gelombang yang berbeda yaitu dari arah barat daya, arah barat, dan arah barat laut. Dari ketiga kondisi tersebut terlihat jelas yang mengalami peredaman paling signifikan yaitu dari arah barat laut karena arah datang gelombang barat laut tidak tegak lurus terhadap garis pantai, maka proses redaman tidak hanya terjadi secara frontal tetapi juga lateral (sepanjang sisi vegetasi).

4.7 Analisa Hasil

Dari hasil 3 kondisi yang telah dimodelkan memperlihatkan adanya perbedaan yang nyata pada pola gelombang dan sedimentasi antara kondisi alami, kondisi dengan *breakwater*, dan kondisi dengan vegetasi mangrove yang terjadi pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat.

Pada kondisi alami tanpa *breakwater* pantai di Tanjung Burung menghasilkan tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) di perairan lepas sekitar 2,4 m

yang menurun secara bertahap menuju pantai. Gelombang dominan datang dari arah barat daya, barat, dan barat laut, dengan pola vektor gelombang yang menunjukkan perubahan arah akibat refraksi dan pemendekan panjang vektor saat mendekati pantai. Kondisi ini menimbulkan arus sepanjang pantai (longshore current) yang kuat, menyebabkan transport sedimen lateral yang mengakibatkan abrasi di satu sisi pantai dan akresi di sisi lainnya. Distribusi sedimen menjadi tidak merata dan garis pantai mengalami ketidakseimbangan.

Pada kondisi dengan breakwater, pola gelombang mengalami perubahan signifikan. Nilai H_s yang semula berkisar 2,4 meter di laut lepas mulai menurun tajam ketika mengenai *breakwater*. Di dalam area perindung *breakwater*, tinggi gelombang berkurang drastis menjadi sekitar 1,2 meter. Efek peredaman ini paling terlihat pada arah gelombang barat laut, karena arah ini sejajar dengan garis pantai dan mengenai sisi terpanjang *breakwater*, sehingga gelombang terhalang secara optimal. Tetapi redaman gelombang yang besar ini mengubah pola sedimentasi. Gelombang yang tertahan di depan *breakwater* membuat sedimen banyak mengendap di sisi luar struktur, sementara di sisi dalam masukan sedimen menjadi sangat minim. Akibatnya, dalam jangka panjang bisa terjadi pendangkalan di luar *breakwater* dan erosi di area pantai yang tidak terlindungi karena kurangnya material sedimen. Selain itu, arus sejajar pantai juga berubah, yang dapat memicu ketidakseimbangan distribusi sedimen di sepanjang garis pantai.

Pada kondisi dengan vegetasi mangrove, nilai H_{sig} hampir sama dengan kondisi alami di semua arah gelombang. Artinya, dalam simulasi ini, keberadaan mangrove tidak memberikan redaman gelombang yang signifikan jika dilihat dari parameter H_{sig} saja. Namun, perbedaan utama justru muncul pada pola sedimentasi. Batang dan akar mangrove memperlambat pergerakan arus di dekat dasar perairan dan memecah kecepatan gelombang secara bertahap, sehingga sedimen yang terbawa cenderung mengendap di area sekitar vegetasi. Hal ini menyebabkan distribusi sedimen menjadi lebih merata di zona depan dan di dalam area mangrove. Gelombang dari barat daya mengalami redaman bertahap hingga mendekati garis pantai, dengan pola sedimentasi yang tetap menunjukkan pergerakan lateral walaupun intensitasnya lebih rendah daripada kondisi alami. Pada arah barat, gelombang datang hampir tegak lurus terhadap garis pantai

sehingga interaksi dengan vegetasi lebih langsung, menghasilkan sedimentasi yang terkonsentrasi di bagian depan vegetasi dan lebih stabil karena arus lateral minim. Sedangkan pada arah barat laut, dampak vegetasi paling terasa pada kestabilan sedimen. Karena gelombang datang hampir sejajar garis pantai, gelombang melewati jalur yang lebih panjang di dalam zona mangrove, membuat kecepatan arus lateral hampir hilang, dan sedimen terperangkap secara efektif sepanjang garis vegetasi.

Perbandingan antara *breakwater* dan vegetasi mangrove yang mana *breakwater* unggul dalam mengurangi tinggi gelombang secara signifikan, sehingga mampu memberikan perlindungan fisik yang cepat terhadap pantai. Cara kerjanya adalah menghentikan energi gelombang secara langsung di depan struktur, sehingga sedimentasi menjadi terkonsentrasi di satu area dan dapat mengganggu keseimbangan sedimentasi alami. Vegetasi mangrove, walaupun tidak menurunkan H_s secara signifikan, mampu mengubah pola arus dan sedimentasi sehingga sedimen mengendap secara merata. Proses ini lebih mendukung kestabilan garis pantai dalam jangka panjang dan memberikan manfaat ekologis, seperti habitat bagi biota pesisir dan peningkatan kualitas lingkungan. Berdasarkan analisis ini, vegetasi mangrove lebih tepat digunakan pada lokasi dengan fokus jangka panjang untuk kestabilan sedimen dan ekosistem, sedangkan *breakwater* cocok untuk kebutuhan perlindungan fisik yang mendesak terhadap gelombang tinggi. Untuk Pantai Tanjung Burung yang menghadapi masalah abrasi dan perubahan garis pantai, penggunaan vegetasi mangrove dapat menjadi pilihan pelindung pantai yang lebih tepat dan berkelanjutan. Mangrove tidak hanya efektif dalam mengurangi kekuatan gelombang dan mencegah abrasi, tetapi juga menjaga siklus alami sedimentasi tanpa memicu masalah baru di wilayah pesisir.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pemodelan yang sudah dilakukan pada tiga kondisi yaitu tanpa adanya pelindung (alami), dengan adanya *breakwater* dan dengan adanya vegetasi mangrove dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Tinggi gelombang signifikan (H_s) pada kondisi alami cukup tinggi, mencapai sekitar 2,4 meter. Gelombang ini langsung menuju pantai tanpa ada penghalang sehingga menyebabkan abrasi atau kerusakan pantai.
- Tinggi gelombang signifikan (H_s) setelah adanya *breakwater* menurun menjadi 1,15 meter berangsur menurun saat menuju pantai menjadi 0,5 meter. Efektifitas *breakwater* dari arah barat laut mengalami redaman yang paling besar dibandingkan arah barat atau barat daya. Hal ini disebabkan sudut datang gelombang yang miring, sehingga lebih banyak energi gelombang yang hilang karena pembelokan (refraksi) dan penghalangan langsung oleh *breakwater*.
- *Breakwater* di Pantai Tanjung Burung Mempawah berhasil mengurangi gelombang di sisi dalamnya, sehingga pantai menjadi lebih aman dari abrasi. Namun, *breakwater* juga menyebabkan perubahan pola sedimen. Sedimen cenderung menumpuk didepan *breakwater* dan membentuk akumulasi yang tebal sementara di belakang *breakwater* menjadi zona tenang yang minim sedimen tetapi berpotensi mengalami pendakalan akibat sedimentasi sekunder dari arus kecil. Hal itu membuat distribusi sedimen tidak seimbang dan jika dibiarkan akan terjadi erosi di sisi lain yang tidak terlindung atau pendakalan berlebihan di area terlindung.
- Vegetasi mangrove menurunkan nilai H_s yang sama seperti tanpa *breakwater* secara bertahap dari laut menuju pantai, memperlambat arus dan memecah energi gelombang secara alami. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada pola sedimentasi yang mana akar dan batang mangrove mampu memperlambat arus dan memecah gelombang sehingga tinggi gelombang yang sampai ke pantai menjadi lebih kecil.

Sedimentasi mangrove lebih merata karena batang dan akar mangrove memperlambat arus serta memecah energi gelombang secara bertahap. Akibatnya, sedimen terdistribusi secara lebih seimbang di area sekitar vegetasi, tanpa menciptakan konsentrasi berlebihan di satu titik. Dengan demikian, secara kuantitas, sedimentasi paling dominan terjadi pada breakwater, tetapi untuk kestabilan jangka panjang, vegetasi mangrove memberikan pola sedimentasi yang lebih seimbang dan ramah lingkungan. Dan mangrove mempunyai manfaat lain yaitu menjadi tempat hidup berbagai hewan laut dan menjaga keseimbangan ekosistem pesisir. Oleh karena itu, menanam dan merawat mangrove adalah solusi yang tepat dan berkelanjutan untuk melindungi pantai dari kerusakan.

5.2 Saran

Adapun untuk saran yang dapat diambil berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya penulis berharap, untuk input data yang digunakan bisa lebih lengkap lagi dan lebih detail agar hasil pemodelan lebih baik ataupun sempurna dalam pemodelan Delft3D dan mempunyai laptop dengan performa yang lebih baik atau berspek tinggi.
2. Pada penelitian ini grid yang digunakan berukuran 80x80 m, diharapkan pada penelitian selanjutnya menggunakan ukuran grid yang lebih kecil sehingga hasilnya dapat lebih rinci terhadap area yang dimodelkan. Namun dengan catatan agar menggunakan perangkat yang lebih memadai untuk bisa melakukan pemodelan.
3. Diharapkan pada penelitian berikutnya agar dapat mengecek setiap langkah-langkah pengerjaan guna memastikan tidak ada eror baik dari membuat data input hingga hasil setiap output.
4. Penelitian selanjutnya dapat mencoba pemodelan dengan desain struktur pelindung yang berbeda, seperti *groins*, *jetty* atau pelindung lainnya yang lebih cocok dan sesuai dengan kondisi hidrodinamika di lokasi penelitian.

5. Disarankan agar durasi runningan tidak hanya 2 hari tetapi lebih panjang seperti 7 hari, 14 hari atau pun 1 bulan agar dapat mengetahui hasil proses yang lebih maksimal.
6. Penulis harap penelitian selanjutnya dapat mengambil sampel sedimen dalam jumlah yang lebih banyak agar data yang didapat lebih representative dan akurat mengenai karakteristik sedimen.
7. Disarankan pemilihan struktur pelindung pantai lebih terarah dan mengikuti ketentuan umum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Triadmojo, *Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta, 2012.
- [2] B. J. Palisu, M. R. Fiqri, and F. M. Assidiq, “Investigasi Bencana Abrasi Di Berbagai Wilayah Masyarakat Pesisir Di Indonesia,” *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, pp. 157–161, Nov. 2022, doi: 10.62012/sensistek.v5i2.24264.
- [3] S. Sodikin, A. N. Ardiansyah, M. Arif, S. Syaripulloh, Y. Ilyas, and A. A. Astriyandi, “Analisis Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya di Wilayah Pesisir Kecamatan Sukra Kabupaten Indramayu Provinsi Jawa Barat,” *J. Mar. Res.*, vol. 13, no. 4, pp. 671–680, Nov. 2024, doi: 10.14710/jmr.v13i4.43276.
- [4] U. S. A. Tirtayasa, “Mengatasi Perubahan Garis Pantai melalui Penanaman Mangrove: Upaya Mitigasi Terhadap Abrasi Pantai di Pesisir Utara Banten,” *Senin, Juli*, 2023. [Online]. Available: <https://untirta.ac.id/2023/07/03/mengatasi-perubahan-garis-pantai-melalui-penanaman-mangrove-upaya-mitigasi-terhadap-abrasi-pantai-di-pesisir-utara-banten/>
- [5] N. P. Sari, “Abrasi Pantai Di Pantai Mangrove Tanjung Burung Kelurahan Tanjung Kecamatan Mempawah,” 2022.
- [6] C. Ginanjar, E. M. Harfinda, and R. Saputra, “Analisis Perubahan Garis Pantai dengan Pendekatan Penginderaan Jauh di Kecamatan Mempawah Hilir,” *J. Laut Khatulistiwa*, vol. 6, no. 3, p. 150, Oct. 2023, doi: 10.26418/lkuntan.v6i3.68186.
- [7] B. Triadmodjo, *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset, 1999.
- [8] N. Yuwono, “Pedoman Teknis Perencanaan Tanggul dan Tembok Laut,” Jakarta, 2005.
- [9] K. N. Raya, “Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan Digital Shoreline Analysis System Di Kecamatan Kuala Pesisir, Kabupaten Nagan Raya, Aceh,” *JFMR-Journal Fish. Mar. Res.*, vol. 5, no. 2, 2021, doi: 10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.22.
- [10] N. Basri and A. D. I. Purwanto, “Studi Laju Sedimentasi Bagian Hilir Sungai Saddang,” *UNISMUH Makassar*, pp. 17–18, 2018, [Online]. Available: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/3810-Full_Text.pdf

- [11] DELFT3D, “FUNCTIONAL SPECIFICATION,” 2020.
- [12] Arizal, “Pemodelan Numerik Perubahan Morfologi Dasar Pantai Singkil dengan Menggunakan Delft3D,” 2011.
- [13] F. Suciaty and H. Murtadho, “Karakteristik Gelombang Laut pada Rencana Pembangunan Breakwater di Pelabuhan Tanjung Adikarto,” *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 3, p. 204, 2021, doi: 10.26760/rekaracana.v6i3.204.
- [14] D. J. Jaya, “Kajian Bangunan Pelindung Pantai Dari Bahaya Abrasi / Erosi Dengan Menggunakan Breakwater Di Indonesia,” *JIPS/ J. Informasi, Perkeb. dan Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 32–46, 2023.
- [15] R. P. Pasaribu, L. P. Hapsari, A. A. Djari, A. Rahman, A. Tanjung, and F. A. Kapitan, “Perubahan Garis Pantai Akibat Adanya Breakwater Di Pulau Pramuka, Kepulauan Seribu, Indonesia,” *J. Teknol. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 14, no. 2, pp. 125–136, 2023, doi: 10.24319/jtpk.14.125-136.
- [16] R. D. Raju and M. Arockiasamy, “Coastal Protection Using Integration of Mangroves with Floating Barges: An Innovative Concept,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 10, no. 5, p. 612, Apr. 2022, doi: 10.3390/jmse10050612.
- [17] K. Zhang, Y. Li, H. Liu, J. Rhome, and C. Forbes, “Transition of the coastal and estuarine storm tide model to an operational storm surge forecast model: A case study of the florida coast,” *Weather Forecast.*, vol. 28, no. 4, pp. 1019–1037, 2013, doi: 10.1175/WAF-D-12-00076.1.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Hasil Pengujian Sedimen



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SANS, DAN TEKNOLOGI
 UNIVERSITAS TANJUNGPURA
 FAKULTAS TEKNIK PRODI TEKNIK SIPIL
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124, wa (083876205731)

BERAT JENIS (Specific Gravity)
 (Specific Gravity of Soil ASTM method D. 854 - 58)

Penentuan Model Pelindung Pantai Menggunakan Software Delft3D Di Pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat

Pantai Tanjung Burung, 0,3234 N 108,9286E

Sample Number	Sampel I					
Pycnometer Number	10	11				
Pycnometer W1 gram	54,09	62,00				
Pycnometer + dry soil W2 gram	74,09	82,00				
Pycnometer + dry soil + water W3 gram	168,42	176,68				
Pycnometer + water W4 gram	157,22	165,44				
Themperature t° C	28,00	28,00				
A = W2 - W1	20,00	20,00				
B=W3-W4	11	11				
C=A-B	8,80	8,76				
Specific Gravity, GS = A / C	2,273	2,284				
Average GS	2,279					
G for 27,5 °c = G1 (GS water t °) / (GS water 27,5°)						



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
 UNIVERSITAS TANJUNGPURA
 FAKULTAS TEKNIK JURI-ISAN SIPIL
 LABORATORIUM MEKANIKA TANAH
 Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124, wa (083876205731)

SUMMARY LABORATORY TEST RESULT

Penentuan Model Pelindung Pantai Menggunakan Software Deft3D Di Pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat Pantai
 Tanjung Burung, 0,3234 N 108,9286E

Date : Juli 2025

No. Sampel	Gs	Diameter (mm)					MIT Classification			
							Sand	Silt	Clay	
		diameter (mm)								
		D16	D50	D80		D90	0.06-2.00	0.002-0.06	0.002	
Sampel disturbed •		Hydrometer & Analisa Saringan								
1	Sampel 1	2,279		0,0049	0,0110	0,0220	0,0290	6	59	35

Catatan: - Tanda tangan dibawah ini hanya bertanggung jawab pada Laporan Penyelidikan Tanah di Laboratorium

- Sampel masuk dalam kondisi terganggu (disturbed)
- Pengujian hanya dilakukan sesuai dengan data hasil di atas

Mengetahui,
 a.n. Dekan
 Wakil Dekan Bidang Akademik



Dr. Ir. Yopa Eka Prawatya, S.T., M.Eng.,IPM
 NIP. 198504082010121009

Pontianak, Juli 2025
 Laboratorium Mekanika Tanah

Fakultas Teknik UNTAN
 Kepala Laboratorium,



Ir. Vivi Bachtiar, S.T., M.T.,IPM
 NIP. 197004051997022003 Kepala Laboratoriu
 Ahli Geoteknik

No Sertifikat : 74321 2142.99 9 00000298 2024



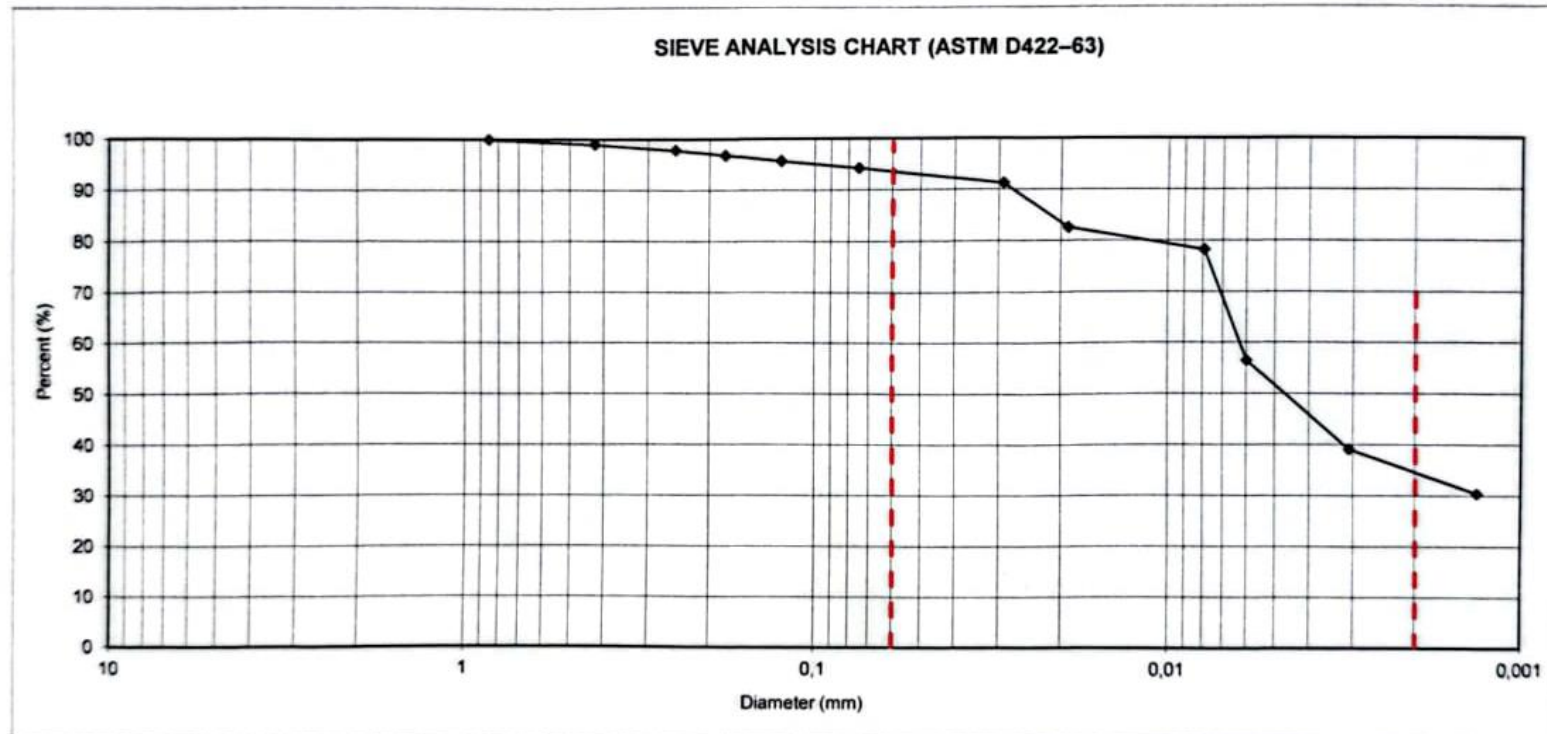
KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL
LABORATORIUM MEKANIKA TANAH

Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124, wa (083876205731)

Penentuan Model Pelindung Pantai Menggunakan Software Delft3D Di Pantai Tanjung Burung Mempawah, Kalimantan Barat
Pantai Tanjung Burung, 0,3234 N 108,9286E

Date : Juli 2025
No. Sample : Sampel 1

Depth (m) : -
Test By : Mardi P./Aji



Sand (%) : 6,00

Silt (%) : 59,00

Clay (%) : 35,00

Lampiran 2 : Dokumentasi Pengambilan Sampel



Lampiran 3 : Data Gelombang Tertinggi

valid_time	mwd	mwp	swh	latitude	longitude
13/07/2021 21:00	237.456	6.2754	2.3878	0.5	109
13/07/2021 22:00	238.443	6.59066	2.34957	0.5	109
13/07/2021 23:00	239.629	6.70171	2.24564	0.5	109
14/07/2021 00:00	240.413	6.69776	2.14088	0.5	109
13/07/2021 20:00	238.374	5.92948	2.1374	0.5	109
14/07/2021 01:00	240.647	6.64067	2.06354	0.5	109
14/07/2021 04:00	236.868	6.38577	2.03121	0.5	109
14/07/2021 03:00	238.607	6.46469	2.02902	0.5	109
14/07/2021 02:00	240.039	6.55686	2.02742	0.5	109
14/07/2021 05:00	234.919	6.31912	2.01606	0.5	109
14/07/2021 06:00	232.594	6.2519	1.98646	0.5	109
14/07/2021 07:00	230.183	6.18306	1.95154	0.5	109
14/07/2021 08:00	228.252	6.13142	1.91548	0.5	109
14/07/2021 09:00	227.231	6.1043	1.85701	0.5	109
13/07/2021 19:00	240.547	5.56603	1.80478	0.5	109
14/07/2021 10:00	226.792	6.08956	1.71408	0.5	109
14/07/2021 11:00	226.761	6.05316	1.55141	0.5	109
13/07/2021 18:00	243.312	5.18216	1.48688	0.5	109
14/07/2021 12:00	226.376	5.96873	1.40701	0.5	109
14/07/2021 13:00	225.052	5.82921	1.29377	0.5	109
14/07/2021 14:00	222.782	5.65593	1.20967	0.5	109
13/07/2021 17:00	246.831	4.80363	1.1916	0.5	109
14/07/2021 15:00	220.028	5.48555	1.14344	0.5	109
14/07/2021 16:00	216.472	5.31373	1.0984	0.5	109
14/07/2021 17:00	212.559	5.16066	1.06739	0.5	109
18/01/2021 07:00	339.759	4.86698	1.05274	0.5	109
18/01/2021 09:00	338.447	4.85261	1.05201	0.5	109
18/01/2021 06:00	340.932	4.83532	1.04879	0.5	109
18/01/2021 08:00	338.892	4.84344	1.04805	0.5	109
18/01/2021 10:00	338.431	4.90092	1.04313	0.5	109
14/07/2021 18:00	209.032	5.0488	1.03414	0.5	109
18/01/2021 05:00	342.018	4.78747	1.02655	0.5	109
14/01/2021 00:00	329.829	5.05212	1.02016	0.5	109
13/01/2021 21:00	329.625	4.99693	1.01479	0.5	109
13/01/2021 23:00	329.621	5.04291	1.01427	0.5	109
13/01/2021 22:00	329.602	5.02702	1.01301	0.5	109
13/01/2021 20:00	329.832	4.98648	1.00724	0.5	109
18/01/2021 11:00	338.009	4.96434	1.00538	0.5	109
14/01/2021 01:00	329.903	5.06679	1.00397	0.5	109
14/07/2021 19:00	205.915	4.97615	0.99575	0.5	109

Lampiran 4 : Data Gelombang Arah Barat

02/07/2022 01:00	186.957	3.63311	0.32044	0.5	109	274.043
02/07/2022 02:00	186.581	3.6141	0.32206	0.5	109	274.03
02/07/2022 03:00	186.213	3.59548	0.32301	0.5	109	273.978
02/07/2022 04:00	186.064	3.58608	0.32122	0.5	109	273.977
02/07/2022 05:00	186.143	3.59194	0.31699	0.5	109	273.977
02/07/2022 06:00	186.343	3.61266	0.31079	0.5	109	273.977
02/07/2022 07:00	186.809	3.61222	0.30471	0.5	109	273.967
02/07/2022 08:00	187.453	3.61314	0.2984	0.5	109	273.955
02/07/2022 09:00	189.7	3.54403	0.29621	0.5	109	273.954
02/07/2022 10:00	192.793	3.55485	0.28748	0.5	109	273.952
02/07/2022 11:00	194.399	3.61379	0.30714	0.5	109	273.946
02/07/2022 12:00	196.755	3.60143	0.30885	0.5	109	273.946
02/07/2022 13:00	198.854	3.56167	0.31092	0.5	109	273.9
02/07/2022 14:00	200.294	3.53242	0.30933	0.5	109	273.886
02/07/2022 15:00	200.905	3.50608	0.30401	0.5	109	273.883
02/07/2022 16:00	201.604	3.49877	0.29662	0.5	109	273.87
02/07/2022 17:00	202.079	3.47977	0.28993	0.5	109	273.868
02/07/2022 18:00	202.505	3.46792	0.28212	0.5	109	273.798
02/07/2022 19:00	202.907	3.45251	0.27416	0.5	109	273.763
02/07/2022 20:00	203.298	3.4456	0.26579	0.5	109	273.757
02/07/2022 21:00	203.57	3.43575	0.25793	0.5	109	273.754
02/07/2022 22:00	201.059	3.50568	0.24222	0.5	109	273.746
02/07/2022 23:00	200.739	3.47641	0.2371	0.5	109	273.738
03/07/2022 00:00	199.113	3.31393	0.23911	0.5	109	273.738
03/07/2022 01:00	197.954	3.27415	0.23554	0.5	109	273.726
03/07/2022 02:00	197.594	3.25945	0.22957	0.5	109	273.717
03/07/2022 03:00	197.58	3.26231	0.22293	0.5	109	273.714
03/07/2022 04:00	197.722	3.2642	0.21629	0.5	109	273.703
03/07/2022 05:00	198.024	3.27563	0.20938	0.5	109	273.699
03/07/2022 06:00	198.739	3.26334	0.20404	0.5	109	273.685
03/07/2022 07:00	199.204	3.27504	0.19799	0.5	109	273.681
03/07/2022 08:00	199.732	3.28046	0.19209	0.5	109	273.634
03/07/2022 09:00	204.616	3.06588	0.20036	0.5	109	273.634
03/07/2022 10:00	209.048	3.1531	0.18049	0.5	109	273.618
03/07/2022 11:00	210.316	3.13367	0.17827	0.5	109	273.603
03/07/2022 12:00	211.4	3.11118	0.17617	0.5	109	273.582
03/07/2022 13:00	212.881	3.08117	0.17416	0.5	109	273.559
03/07/2022 14:00	213.768	3.06739	0.17105	0.5	109	273.558
03/07/2022 15:00	214.48	3.01703	0.16977	0.5	109	273.523
03/07/2022 16:00	214.404	2.98546	0.16736	0.5	109	273.519
03/07/2022 17:00	214.089	2.93334	0.16672	0.5	109	273.503
03/07/2022 18:00	212.626	2.89116	0.16605	0.5	109	273.478
03/07/2022 19:00	212.696	2.87846	0.16238	0.5	109	273.464
03/07/2022 20:00	212.741	2.87557	0.15777	0.5	109	273.439
03/07/2022 21:00	212.842	2.86393	0.15419	0.5	109	273.438

Lampiran 5 : Data Gelombang Arah Barat Laut

DD/MM/YYYY	MWD	MWP	SWH	latitude	longitude
01/01/2020 00:00	338.727	3.99592	0.48762	0.5	109
01/01/2020 01:00	338.266	4.02161	0.47	0.5	109
01/01/2020 02:00	338.886	3.99222	0.45666	0.5	109
01/01/2020 03:00	338.321	3.99833	0.44179	0.5	109
01/01/2020 04:00	337.603	4.02992	0.42651	0.5	109
01/01/2020 05:00	336.855	4.07027	0.41261	0.5	109
01/01/2020 06:00	335.844	4.04001	0.40657	0.5	109
01/01/2020 07:00	335.749	3.988	0.40531	0.5	109
01/01/2020 08:00	335.277	3.95595	0.40506	0.5	109
01/01/2020 09:00	334.823	3.92299	0.40717	0.5	109
01/01/2020 10:00	335.103	3.92033	0.40648	0.5	109
01/01/2020 11:00	335.063	3.91309	0.40673	0.5	109
01/01/2020 12:00	335.04	3.92916	0.40366	0.5	109
01/01/2020 13:00	334.974	3.96537	0.39777	0.5	109
01/01/2020 14:00	334.891	4.00199	0.391	0.5	109
01/01/2020 15:00	334.742	4.04033	0.38339	0.5	109
01/01/2020 16:00	334.524	4.08216	0.37479	0.5	109
01/01/2020 17:00	334.322	4.11897	0.36699	0.5	109
01/01/2020 18:00	334.211	4.14112	0.36104	0.5	109
01/01/2020 19:00	334.22	4.15164	0.35683	0.5	109
01/01/2020 20:00	334.329	4.15455	0.35373	0.5	109
01/01/2020 21:00	334.461	4.14303	0.35267	0.5	109
01/01/2020 22:00	335.251	4.21389	0.34701	0.5	109
01/01/2020 23:00	335.509	4.18204	0.34883	0.5	109
02/01/2020 00:00	335.662	4.16944	0.34807	0.5	109
02/01/2020 01:00	335.541	4.18345	0.34437	0.5	109
02/01/2020 02:00	335.361	4.20658	0.34028	0.5	109
02/01/2020 03:00	335.184	4.22418	0.33665	0.5	109
02/01/2020 04:00	334.931	4.15091	0.33741	0.5	109
02/01/2020 05:00	333.352	4.01767	0.34381	0.5	109
02/01/2020 06:00	332.383	3.90448	0.35355	0.5	109
02/01/2020 07:00	334.945	3.68413	0.3822	0.5	109
02/01/2020 08:00	335.174	3.64685	0.39474	0.5	109
02/01/2020 09:00	335.689	3.64825	0.40354	0.5	109
02/01/2020 10:00	336.485	3.69838	0.40486	0.5	109
02/01/2020 11:00	336.25	3.75167	0.40259	0.5	109
02/01/2020 12:00	336.141	3.79399	0.40169	0.5	109
02/01/2020 13:00	336.4	3.7908	0.40818	0.5	109
02/01/2020 14:00	336.767	3.80681	0.41187	0.5	109
02/01/2020 15:00	336.996	3.84195	0.41047	0.5	109
02/01/2020 16:00	336.906	3.90658	0.40237	0.5	109

Lampiran 6 : Data Grafik Tanpa Breakwater dari Arah Barat Daya

x coordinat	y coordinat	Hs tanpa breakwater arah barat daya	Distance	Delta
255259	10035165	2.381000042	0	0
255713	10035168	2.381999969	0.453307	0.45331
256158	10035170	2.381000042	0.898452	0.44515
256603	10035173	2.377000093	1.343946	0.44549
257049	10035175	2.371000051	1.789451	0.4455
257494	10035178	2.362999916	2.234945	0.44549
257940	10035181	2.355000019	2.68044	0.44549
258385	10035183	2.348999977	3.125929	0.44549
258831	10035186	2.348999977	3.571423	0.44549
259276	10035189	2.355999947	4.016886	0.44546
259722	10035193	2.348999977	4.462404	0.44552
260167	10035196	2.334000111	4.907883	0.44548
260613	10035199	2.328999996	5.353362	0.44548
261058	10035202	2.335000038	5.798825	0.44546
261503	10035205	2.338999987	6.24432	0.44549
261949	10035209	2.342999935	6.689806	0.44549
262394	10035212	2.338000059	7.135301	0.44549
262840	10035216	2.332999945	7.580788	0.44549
263285	10035219	2.33100009	8.026235	0.44545
263731	10035223	2.325000048	8.471691	0.44546
264176	10035227	2.289000034	8.917146	0.44546
264622	10035230	2.211999893	9.362625	0.44548
265067	10035234	2.145999908	9.808112	0.44549
265513	10035238	2.101999998	10.25357	0.44546
265958	10035242	2.038000107	10.69905	0.44549
266403	10035246	1.904000044	11.14451	0.44546
266849	10035250	1.702999949	11.59	0.44549
267294	10035254	1.557000041	12.03542	0.44542
267740	10035258	1.42900002	12.48091	0.44549
268185	10035262	1.24000001	12.92636	0.44546
268631	10035266	0.772099972	13.37179	0.44542
269076	10035270	0	13.81724	0.44546
269522	10035274	0		

Lampiran 7 : Data Grafik Tanpa Breakwater dari Arah Barat

x	coordinat y	Hs tanpa breakwater arah barat	Distance	Delta
255259	10035165	2.381000042	0	0
255713	10035168	2.384000063	0.45331	0.45331
256158	10035170	2.384000063	0.89845	0.44515
256603	10035173	2.382999897	1.34395	0.44549
257049	10035175	2.380000114	1.78945	0.4455
257494	10035178	2.375	2.23495	0.44549
257940	10035181	2.368000031	2.68044	0.44549
258385	10035183	2.362999916	3.12593	0.44549
258831	10035186	2.364000082	3.57142	0.44549
259276	10035189	2.371999979	4.01689	0.44546
259722	10035193	2.364000082	4.4624	0.44552
260167	10035196	2.345999956	4.90788	0.44548
260613	10035199	2.338999987	5.35336	0.44548
261058	10035202	2.345999956	5.79883	0.44546
261503	10035205	2.351000071	6.24432	0.44549
261949	10035209	2.355999947	6.68981	0.44549
262394	10035212	2.351999998	7.1353	0.44549
262840	10035216	2.345000029	7.58079	0.44549
263285	10035219	2.338000059	8.02624	0.44545
263731	10035223	2.328000069	8.47169	0.44546
264176	10035227	2.289999962	8.91715	0.44546
264622	10035230	2.210000038	9.36263	0.44548
265067	10035234	2.134000063	9.80811	0.44549
265513	10035238	2.072000027	10.2536	0.44546
265958	10035242	1.985000014	10.6991	0.44549
266403	10035246	1.858000004	11.1445	0.44546
266849	10035250	1.674000025	11.59	0.44549
267294	10035254	1.521999955	12.0354	0.44542
267740	10035258	1.399999976	12.4809	0.44549
268185	10035262	1.218999982	12.9264	0.44546
268631	10035266	0.761300027	13.3718	0.44542
269076	10035270	0	13.8172	0.44546

Lampiran 8 : Data Grafik Tanpa Breakwater dari Arah Barat Laut

x coordinate	y coordinate	Hs tanpa breakwater arah barat laut	distance	delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.384999999	0.45331	0.45331
256157.7031	10035170	2.385999918	0.89845	0.44515
256603.1875	10035173	2.384999999	1.34395	0.44549
257048.6875	10035175	2.381999969	1.78945	0.4455
257494.1719	10035178	2.375999928	2.23495	0.44549
257939.6563	10035181	2.369999886	2.68044	0.44549
258385.1406	10035183	2.364000082	3.12593	0.44549
258830.625	10035186	2.364000082	3.57142	0.44549
259276.0781	10035189	2.368000031	4.01689	0.44546
259721.5781	10035193	2.357000113	4.4624	0.44552
260167.0469	10035196	2.336999893	4.90788	0.44548
260612.5156	10035199	2.332999945	5.35336	0.44548
261057.9688	10035202	2.345999956	5.79883	0.44546
261503.4531	10035205	2.351999998	6.24432	0.44549
261948.9219	10035209	2.355000019	6.68981	0.44549
262394.4063	10035212	2.346999884	7.1353	0.44549
262839.875	10035216	2.334000111	7.58079	0.44549
263285.3125	10035219	2.319000006	8.02624	0.44545
263730.75	10035223	2.29399991	8.47169	0.44546
264176.1875	10035227	2.227999926	8.91715	0.44546
264621.6563	10035230	2.114000082	9.36263	0.44548
265067.125	10035234	2.002000093	9.80811	0.44549
265512.5625	10035238	1.925999999	10.2536	0.44546
265958.0313	10035242	1.835999966	10.6991	0.44549
266403.4688	10035246	1.735999942	11.1445	0.44546
266848.9375	10035250	1.598000005	11.59	0.44549
267294.3438	10035254	1.465000033	12.0354	0.44542
267739.8125	10035258	1.348000005	12.4809	0.44549
268185.25	10035262	1.187999964	12.9264	0.44546
268630.6563	10035266	0.726999998	13.3718	0.44542
269076.0938	10035270	0	13.8172	0.44546
269521.5	10035274	0		

Lampiran 9 : Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat Daya

x coordinate	y coordinate	Hs dengan breakwater arah barat daya	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.381999969	0.4533068	0.453306802
256157.7031	10035170	2.381000042	0.8984519	0.445145118
256603.1875	10035173	2.377000093	1.3439464	0.445494476
257048.6875	10035175	2.371000051	1.7894509	0.445504489
257494.1719	10035178	2.362999916	2.2349454	0.445494476
257939.6563	10035181	2.355000019	2.6804398	0.445494476
258385.1406	10035183	2.348999977	3.1259287	0.445488864
258830.625	10035186	2.348999977	3.5714232	0.445494476
259276.0781	10035189	2.355999947	4.0168864	0.445463227
259721.5781	10035193	2.348999977	4.4624044	0.445517957
260167.0469	10035196	2.334000111	4.9078832	0.445478852
260612.5156	10035199	2.328999996	5.3533621	0.445478852
261057.9688	10035202	2.335000038	5.7988253	0.445463227
261503.4531	10035205	2.338999987	6.2443198	0.445494476
261948.9219	10035209	2.342999935	6.6898065	0.445486708
262394.4063	10035212	2.338000059	7.135301	0.445494476
262839.875	10035216	2.332999945	7.5807877	0.445486708
263285.3125	10035219	2.33100009	8.0262353	0.445447602
263730.75	10035223	2.325000048	8.4716907	0.44545546
264176.1875	10035227	2.289000034	8.9171462	0.44545546
264621.6563	10035230	2.211999893	9.362625	0.445478852
265067.125	10035234	2.145999908	9.8081117	0.445486708
265512.5625	10035238	2.101999998	10.253567	0.44545546
265958.0313	10035242	2.038000107	10.699054	0.445486708
266403.4688	10035246	1.904000044	11.144509	0.44545546
266848.9375	10035250	1.702999949	11.589996	0.445486708
267294.3438	10035254	1.557000041	12.03542	0.445424211
267739.8125	10035258	1.42900002	12.480907	0.445486708
268185.25	10035262	1.24000001	12.926362	0.44545546
268630.6563	10035266	0.772099972	13.371787	0.445424211
269076.0938	10035270	0	13.817242	0.44545546

Lampiran 10 : Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat

x coordinate	y coordinate	Hs dengan breakwater arah barat	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.381999969	0.4533068	0.453306802
256157.7031	10035170	2.381000042	0.8984519	0.445145118
256603.1875	10035173	2.377000093	1.3439464	0.445494476
257048.6875	10035175	2.371000051	1.7894509	0.445504489
257494.1719	10035178	2.362999916	2.2349454	0.445494476
257939.6563	10035181	2.355000019	2.6804398	0.445494476
258385.1406	10035183	2.348999977	3.1259287	0.445488864
258830.625	10035186	2.348999977	3.5714232	0.445494476
259276.0781	10035189	2.355999947	4.0168864	0.445463227
259721.5781	10035193	2.348999977	4.4624044	0.445517957
260167.0469	10035196	2.334000111	4.9078832	0.445478852
260612.5156	10035199	2.328999996	5.3533621	0.445478852
261057.9688	10035202	2.335000038	5.7988253	0.445463227
261503.4531	10035205	2.338999987	6.2443198	0.445494476
261948.9219	10035209	2.342999935	6.6898065	0.445486708
262394.4063	10035212	2.338000059	7.135301	0.445494476
262839.875	10035216	2.332999945	7.5807877	0.445486708
263285.3125	10035219	2.33100009	8.0262353	0.445447602
263730.75	10035223	2.325000048	8.4716907	0.44545546
264176.1875	10035227	2.289000034	8.9171462	0.44545546
264621.6563	10035230	2.211999893	9.362625	0.445478852
265067.125	10035234	2.145999908	9.8081117	0.445486708
265512.5625	10035238	2.101999998	10.253567	0.44545546
265958.0313	10035242	2.038000107	10.699054	0.445486708
266403.4688	10035246	1.904000044	11.144509	0.44545546
266848.9375	10035250	1.702999949	11.589996	0.445486708
267294.3438	10035254	1.557000041	12.03542	0.445424211
267739.8125	10035258	1.42900002	12.480907	0.445486708
268185.25	10035262	1.24000001	12.926362	0.44545546
268630.6563	10035266	0.772099972	13.371787	0.445424211
269076.0938	10035270	0	13.817242	0.44545546

Lampiran 11 : Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat Laut

x coordinate	y coordinate	Hs dengan breakwater arah barat laut	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.381999969	0.4533068	0.453306802
256157.7031	10035170	2.381000042	0.8984519	0.445145118
256603.1875	10035173	2.377000093	1.3439464	0.445494476
257048.6875	10035175	2.371000051	1.7894509	0.445504489
257494.1719	10035178	2.362999916	2.2349454	0.445494476
257939.6563	10035181	2.355000019	2.6804398	0.445494476
258385.1406	10035183	2.348999977	3.1259287	0.445488864
258830.625	10035186	2.348999977	3.5714232	0.445494476
259276.0781	10035189	2.355999947	4.0168864	0.445463227
259721.5781	10035193	2.348999977	4.4624044	0.445517957
260167.0469	10035196	2.334000111	4.9078832	0.445478852
260612.5156	10035199	2.328999996	5.3533621	0.445478852
261057.9688	10035202	2.335000038	5.7988253	0.445463227
261503.4531	10035205	2.338999987	6.2443198	0.445494476
261948.9219	10035209	2.342999935	6.6898065	0.445486708
262394.4063	10035212	2.338000059	7.135301	0.445494476
262839.875	10035216	2.332999945	7.5807877	0.445486708
263285.3125	10035219	2.33100009	8.0262353	0.445447602
263730.75	10035223	2.325000048	8.4716907	0.44545546
264176.1875	10035227	2.289000034	8.9171462	0.44545546
264621.6563	10035230	2.211999893	9.362625	0.445478852
265067.125	10035234	2.145999908	9.8081117	0.445486708
265512.5625	10035238	2.101999998	10.253567	0.44545546
265958.0313	10035242	2.038000107	10.699054	0.445486708
266403.4688	10035246	1.904000044	11.144509	0.44545546
266848.9375	10035250	1.702999949	11.589996	0.445486708
267294.3438	10035254	1.557000041	12.03542	0.445424211
267739.8125	10035258	1.42900002	12.480907	0.445486708
268185.25	10035262	1.24000001	12.926362	0.44545546
268630.6563	10035266	0.772099972	13.371787	0.445424211
269076.0938	10035270	0	13.817242	0.44545546

Lampiran 12 : Data Grafik Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Daya

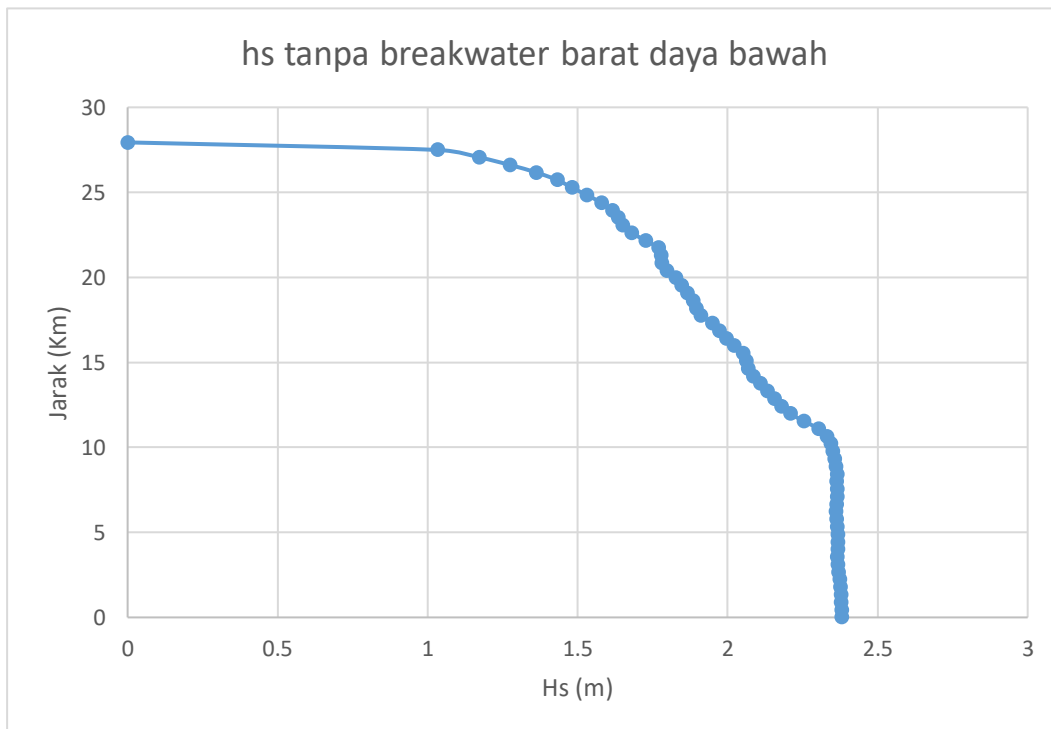
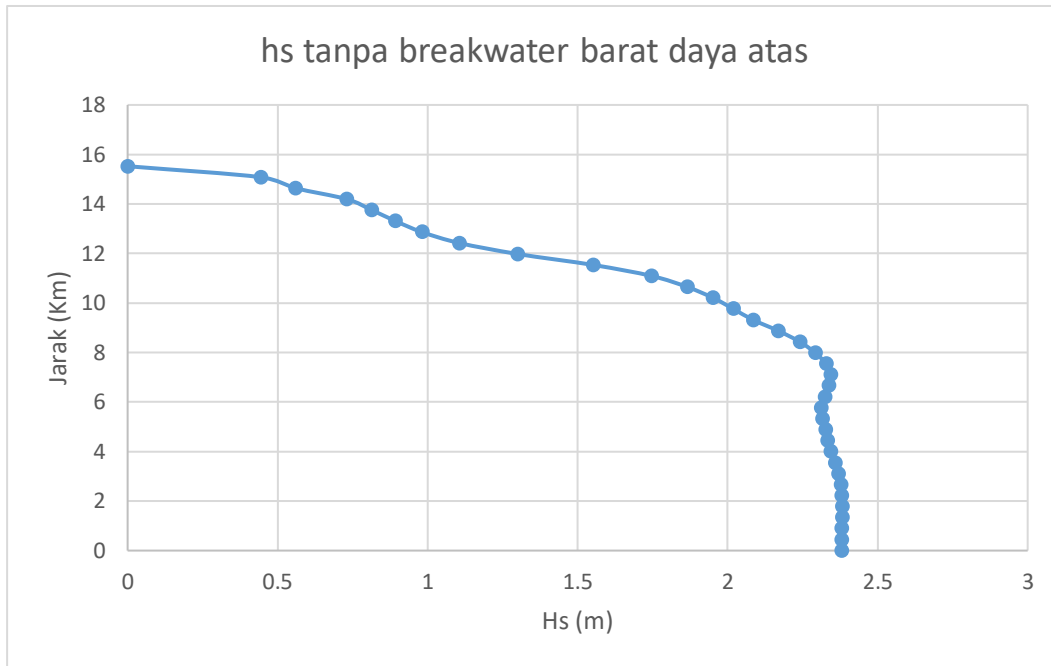
x coordinate	y coordinate	Hs dengan vegetasi arah barat daya	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.381999969	0.453307	0.45331
256157.7031	10035170	2.381000042	0.898452	0.44515
256603.1875	10035173	2.377000093	1.343946	0.44549
257048.6875	10035175	2.371000051	1.789451	0.4455
257494.1719	10035178	2.362999916	2.234945	0.44549
257939.6563	10035181	2.355000019	2.68044	0.44549
258385.1406	10035183	2.348999977	3.125929	0.44549
258830.625	10035186	2.348999977	3.571423	0.44549
259276.0781	10035189	2.355999947	4.016886	0.44546
259721.5781	10035193	2.348999977	4.462404	0.44552
260167.0469	10035196	2.334000111	4.907883	0.44548
260612.5156	10035199	2.328999996	5.353362	0.44548
261057.9688	10035202	2.335000038	5.798825	0.44546
261503.4531	10035205	2.338999987	6.24432	0.44549
261948.9219	10035209	2.342999935	6.689806	0.44549
262394.4063	10035212	2.338000059	7.135301	0.44549
262839.875	10035216	2.332999945	7.580788	0.44549
263285.3125	10035219	2.33100009	8.026235	0.44545
263730.75	10035223	2.325000048	8.471691	0.44546
264176.1875	10035227	2.289000034	8.917146	0.44546
264621.6563	10035230	2.211999893	9.362625	0.44548
265067.125	10035234	2.145999908	9.808112	0.44549
265512.5625	10035238	2.101999998	10.25357	0.44546
265958.0313	10035242	2.038000107	10.69905	0.44549
266403.4688	10035246	1.904000044	11.14451	0.44546
266848.9375	10035250	1.702999949	11.59	0.44549
267294.3438	10035254	1.557000041	12.03542	0.44542
267739.8125	10035258	1.42900002	12.48091	0.44549
268185.25	10035262	1.24000001	12.92636	0.44546
268630.6563	10035266	0.772099972	13.37179	0.44542
269076.0938	10035270	0	13.81724	0.44546

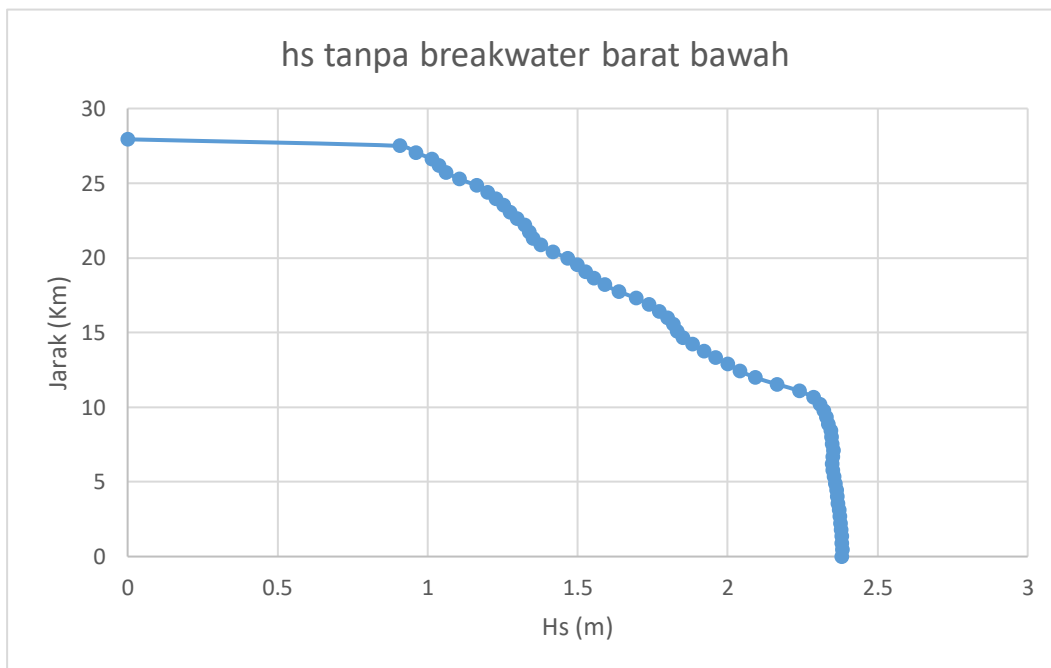
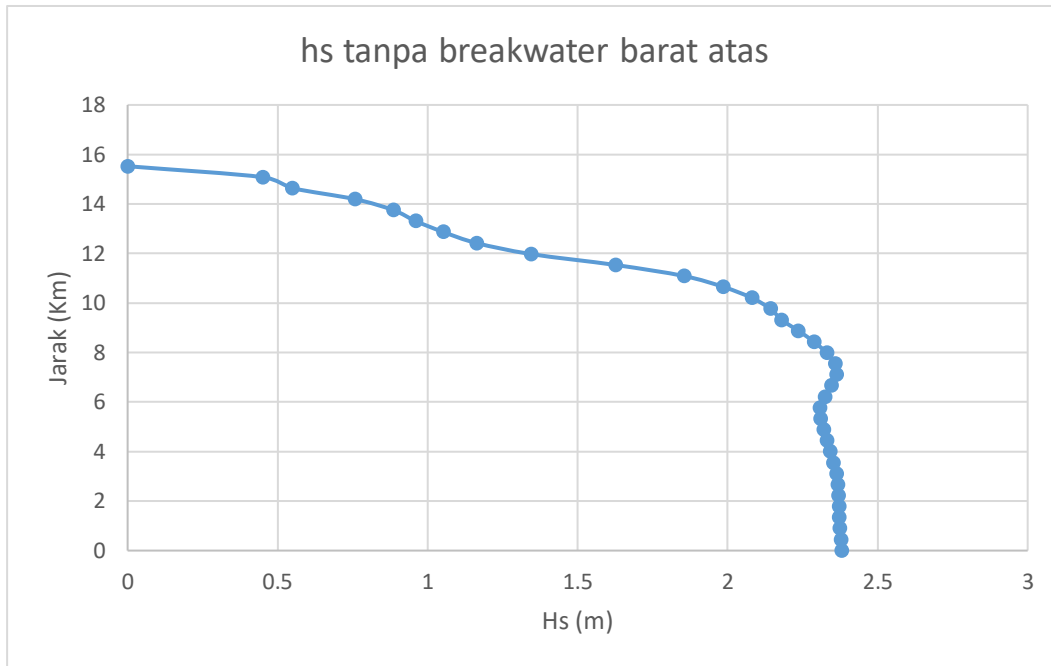
Lampiran 13 : Data Grafik Vegetasi Mangrove dari Arah Barat

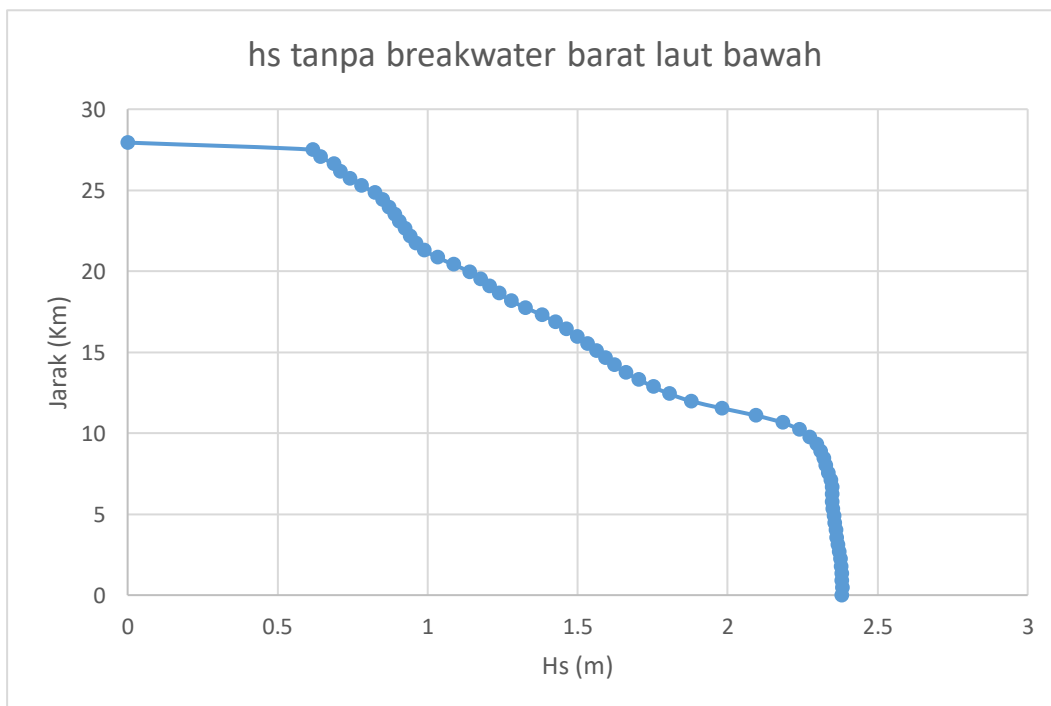
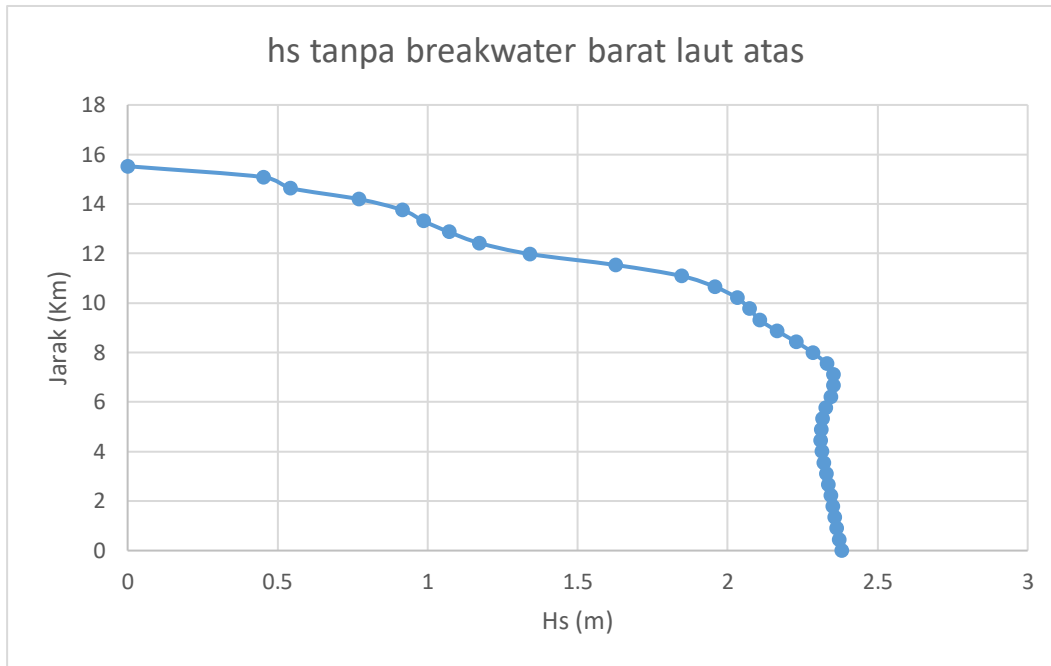
x coordinate	y coordinate	Hs dengan vegetasi dari arah barat	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.384000063	0.45331	0.45331
256157.7031	10035170	2.384000063	0.89845	0.44515
256603.1875	10035173	2.382999897	1.34395	0.44549
257048.6875	10035175	2.380000114	1.78945	0.4455
257494.1719	10035178	2.375	2.23495	0.44549
257939.6563	10035181	2.368000031	2.68044	0.44549
258385.1406	10035183	2.362999916	3.12593	0.44549
258830.625	10035186	2.364000082	3.57142	0.44549
259276.0781	10035189	2.371999979	4.01689	0.44546
259721.5781	10035193	2.364000082	4.4624	0.44552
260167.0469	10035196	2.345999956	4.90788	0.44548
260612.5156	10035199	2.338999987	5.35336	0.44548
261057.9688	10035202	2.345999956	5.79883	0.44546
261503.4531	10035205	2.351000071	6.24432	0.44549
261948.9219	10035209	2.355999947	6.68981	0.44549
262394.4063	10035212	2.351999998	7.1353	0.44549
262839.875	10035216	2.345000029	7.58079	0.44549
263285.3125	10035219	2.338000059	8.02624	0.44545
263730.75	10035223	2.328000069	8.47169	0.44546
264176.1875	10035227	2.289999962	8.91715	0.44546
264621.6563	10035230	2.210000038	9.36263	0.44548
265067.125	10035234	2.134000063	9.80811	0.44549
265512.5625	10035238	2.072000027	10.2536	0.44546
265958.0313	10035242	1.985000014	10.6991	0.44549
266403.4688	10035246	1.85800004	11.1445	0.44546
266848.9375	10035250	1.674000025	11.59	0.44549
267294.3438	10035254	1.521999955	12.0354	0.44542
267739.8125	10035258	1.399999976	12.4809	0.44549
268185.25	10035262	1.218999982	12.9264	0.44546
268630.6563	10035266	0.761300027	13.3718	0.44542
269076.0938	10035270	0	13.8172	0.44546

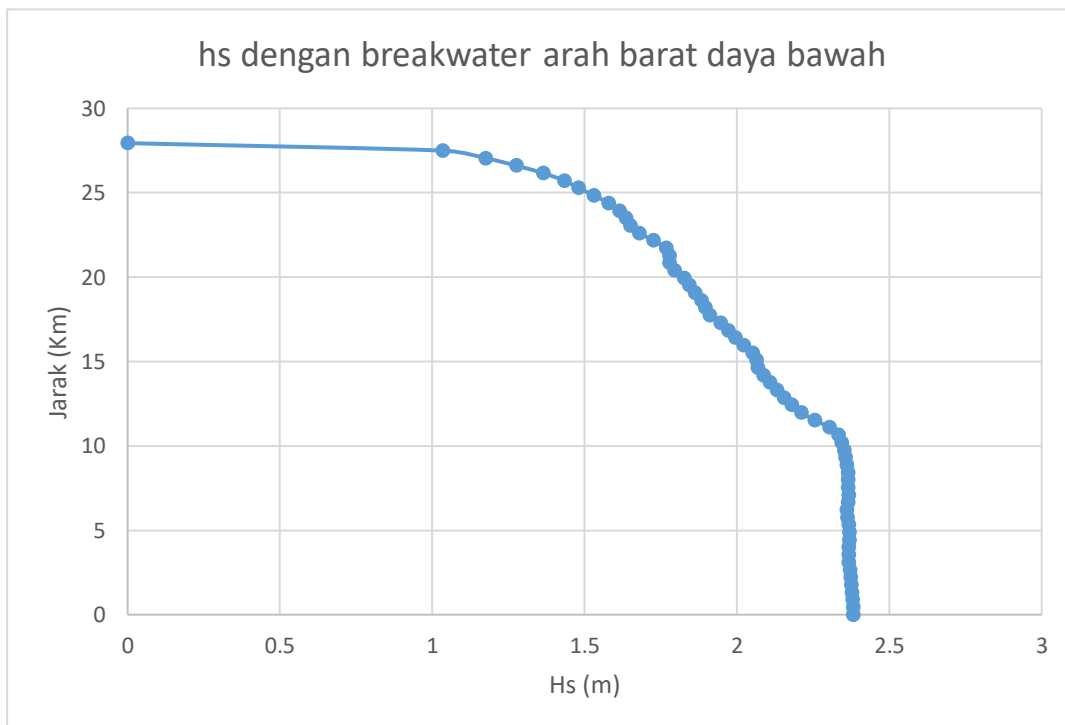
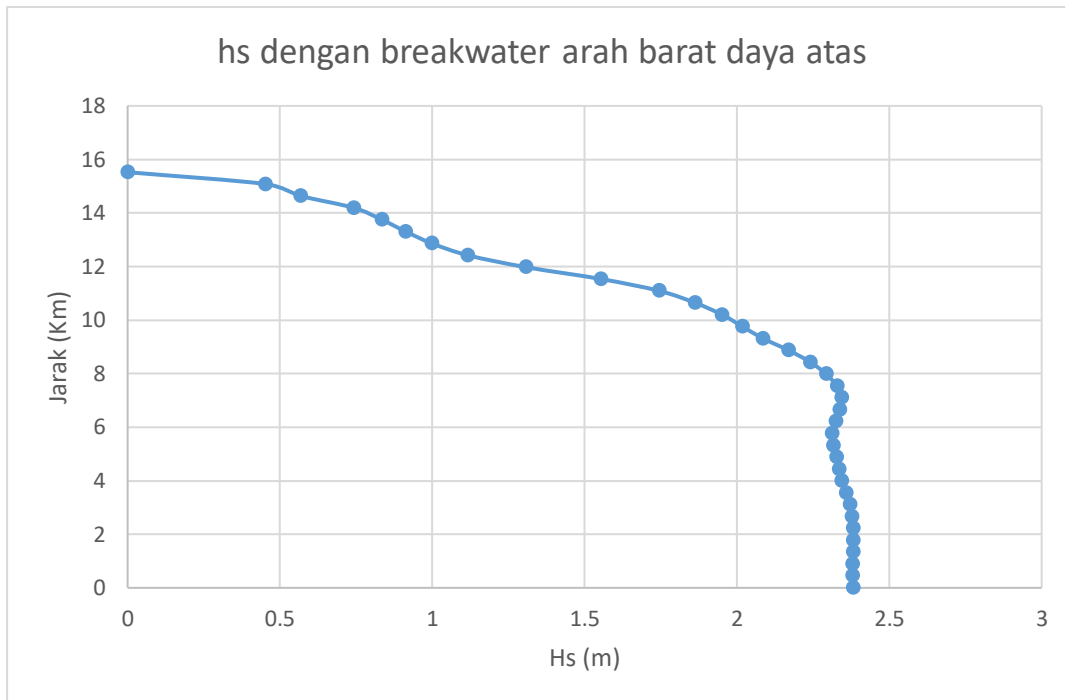
Lampiran 14 : Data Grafik Vegetasi Mangrove dari Arah Barat Laut

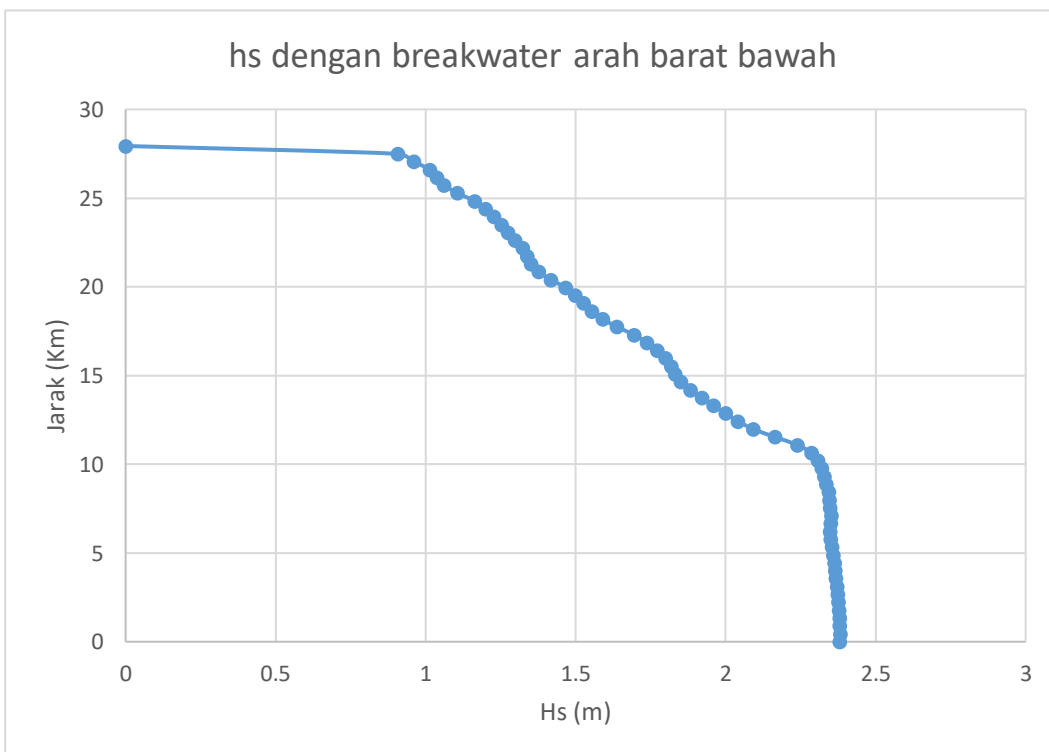
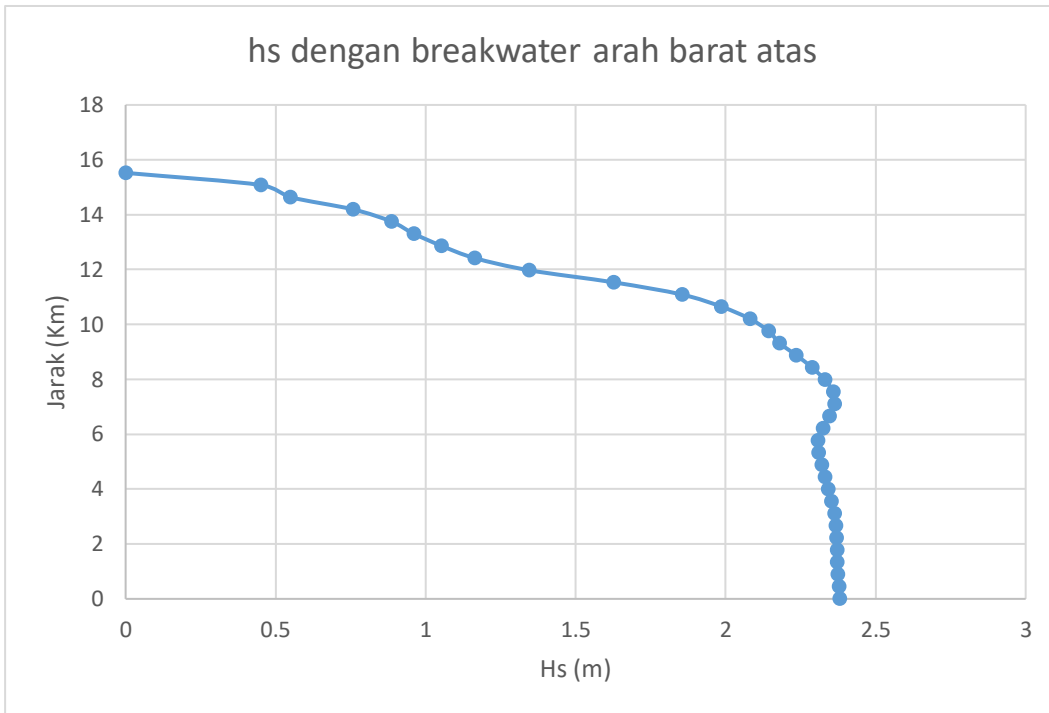
x coordinate	y coordinate	Hs dengan vegetasi dari arah barat laut	Distance	Delta
255259.2656	10035165	2.381000042	0	0
255712.5625	10035168	2.384000063	0.45331	0.45331
256157.7031	10035170	2.384000063	0.89845	0.44515
256603.1875	10035173	2.382999897	1.34395	0.44549
257048.6875	10035175	2.380000114	1.78945	0.4455
257494.1719	10035178	2.375	2.23495	0.44549
257939.6563	10035181	2.368000031	2.68044	0.44549
258385.1406	10035183	2.362999916	3.12593	0.44549
258830.625	10035186	2.364000082	3.57142	0.44549
259276.0781	10035189	2.371999979	4.01689	0.44546
259721.5781	10035193	2.364000082	4.4624	0.44552
260167.0469	10035196	2.345999956	4.90788	0.44548
260612.5156	10035199	2.338999987	5.35336	0.44548
261057.9688	10035202	2.345999956	5.79883	0.44546
261503.4531	10035205	2.351000071	6.24432	0.44549
261948.9219	10035209	2.355999947	6.68981	0.44549
262394.4063	10035212	2.351999998	7.1353	0.44549
262839.875	10035216	2.345000029	7.58079	0.44549
263285.3125	10035219	2.338000059	8.02624	0.44545
263730.75	10035223	2.328000069	8.47169	0.44546
264176.1875	10035227	2.289999962	8.91715	0.44546
264621.6563	10035230	2.210000038	9.36263	0.44548
265067.125	10035234	2.134000063	9.80811	0.44549
265512.5625	10035238	2.072000027	10.2536	0.44546
265958.0313	10035242	1.985000014	10.6991	0.44549
266403.4688	10035246	1.858000004	11.1445	0.44546
266848.9375	10035250	1.674000025	11.59	0.44549
267294.3438	10035254	1.521999955	12.0354	0.44542
267739.8125	10035258	1.399999976	12.4809	0.44549
268185.25	10035262	1.218999982	12.9264	0.44546
268630.6563	10035266	0.761300027	13.3718	0.44542
269076.0938	10035270	0	13.8172	0.44546

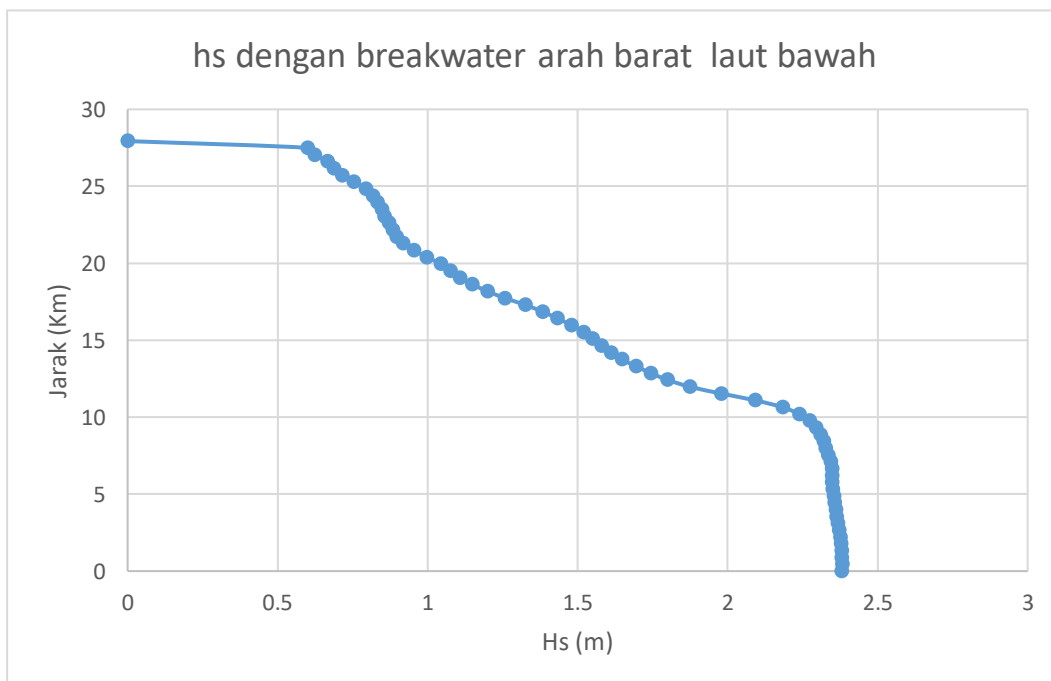
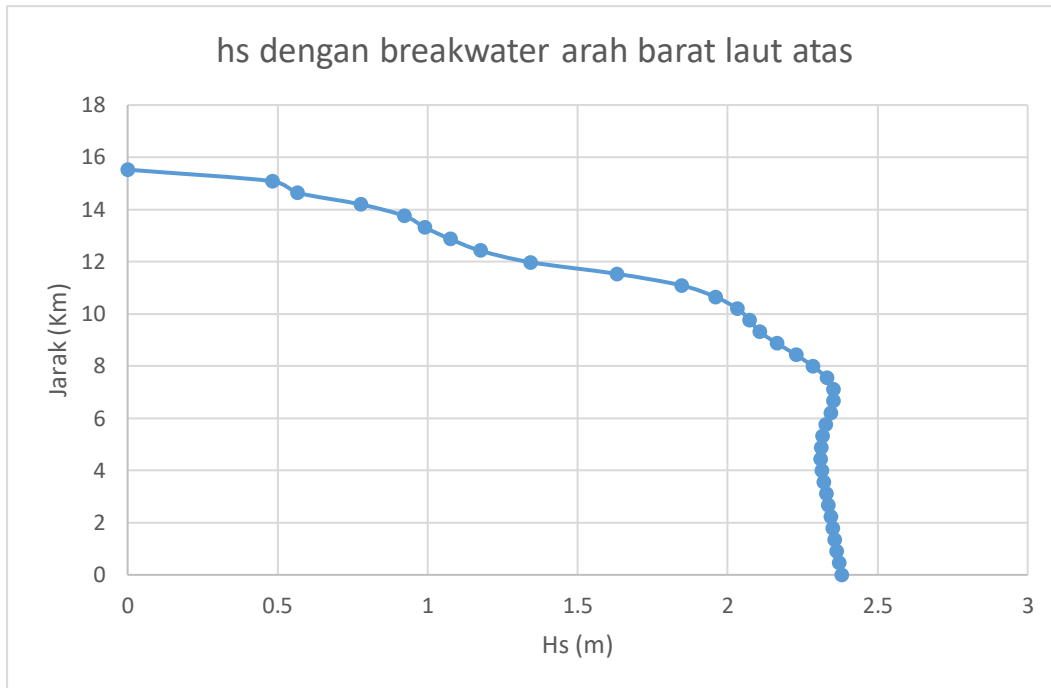
Lampiran 15 : Grafik Tanpa Pelindung Arah Barat Daya

Lampiran 16 : Grafik Tanpa Pelindung Arah Barat

Lampiran 17 : Grafik Tanpa Pelindung Arah Barat Laut

Lampiran 18 : Grafik Dengan Breakwater Arah Barat Daya

Lampiran 19 : Grafik Dengan Breakwater Arah Barat

Lampiran 20 : Grafik Dengan Breakwater Arah Barat Laut

Lampiran 21 : Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat Daya diatas

x coordinate	y coordinate	hs dengan breakwater arah barat daya atas	Distance	Delta
255206.91	10040275	2.381000042	0	0
255656.45	10040278	2.380000114	0.44956	0.44956
256099.55	10040281	2.380000114	0.89266	0.4431
256542.94	10040284	2.381999969	1.33606	0.4434
256986.33	10040287	2.381999969	1.77946	0.4434
257429.7	10040290	2.381000042	2.22285	0.44339
257873.08	10040293	2.377000093	2.66623	0.44339
258316.45	10040297	2.369999886	3.10963	0.44339
258759.83	10040300	2.358000004	3.55301	0.44339
259203.19	10040303	2.344000101	3.99638	0.44337
259646.59	10040307	2.334000111	4.4398	0.44342
260089.94	10040311	2.326999903	4.88317	0.44336
260533.3	10040314	2.315000057	5.32654	0.44337
260976.66	10040318	2.311000109	5.76991	0.44338
261420.03	10040322	2.325000048	6.21331	0.44339
261863.39	10040326	2.338000059	6.65668	0.44338
262306.78	10040330	2.342999935	7.10009	0.44341
262750.13	10040334	2.328000069	7.54345	0.44336
263193.47	10040338	2.292000055	7.98682	0.44336
263636.81	10040342	2.240999937	8.43018	0.44336
264080.16	10040346	2.16899991	8.87354	0.44336
264523.5	10040350	2.085000038	9.3169	0.44336
264966.88	10040354	2.017999887	9.76029	0.44339
265410.19	10040359	1.950999975	10.2036	0.44334
265853.56	10040363	1.861999989	10.647	0.44339
266296.91	10040367	1.745000005	11.0904	0.44336
266740.28	10040372	1.554000002	11.5338	0.4434
267183.56	10040376	1.307000041	11.9771	0.4433
267626.94	10040381	1.116999984	12.4205	0.4434
268070.25	10040385	0.99879998	12.8638	0.44333
268513.56	10040390	0.912599981	13.3072	0.44334
268956.91	10040394	0.834200025	13.7505	0.44336
269400.22	10040399	0.741900027	14.1939	0.44334
269843.59	10040404	0.567600012	14.6373	0.4434
270286.91	10040408	0.452199996	15.0806	0.44333
270730.28	10040413	0	15.524	0.4434

Lampiran 22: Data Grafik Dengan Breakwater Arah Barat Daya dibawah

x coordinate	y coordinate	Distance	Delta	hs dengan breakwater arah barat daya bawah
255206.91	10040275	0	0	2.381000042
255656.45	10040278	0.44956	0.44956	2.381000042
256099.55	10040281	0.89266	0.4431	2.378999949
256542.94	10040284	1.33606	0.4434	2.377000093
256986.33	10040287	1.77946	0.4434	2.375
257429.7	10040290	2.22285	0.44339	2.372999907
257873.08	10040293	2.66623	0.44339	2.369999886
258316.45	10040297	3.10963	0.44339	2.367000103
258759.83	10040300	3.55301	0.44339	2.365999937
259203.19	10040303	3.99638	0.44337	2.367000103
259646.59	10040307	4.4398	0.44342	2.368000031
260089.94	10040311	4.88317	0.44336	2.368000031
260533.3	10040314	5.32654	0.44337	2.365999937
260976.66	10040318	5.76991	0.44338	2.361999989
261420.03	10040322	6.21331	0.44339	2.361000061
261863.39	10040326	6.65668	0.44338	2.364000082
262306.78	10040330	7.10009	0.44341	2.365999937
262750.13	10040334	7.54345	0.44336	2.365000001
263193.47	10040338	7.98682	0.44336	2.364000082
263636.81	10040342	8.43018	0.44336	2.365000001
264080.16	10040346	8.87354	0.44336	2.361000061
264523.5	10040350	9.3169	0.44336	2.355999947
264966.88	10040354	9.76029	0.44339	2.351000071
265410.19	10040359	10.2036	0.44334	2.344000101
265853.56	10040363	10.647	0.44339	2.332000017
266296.91	10040367	11.0904	0.44336	2.303999901
266740.28	10040372	11.5338	0.4434	2.255000114
267183.56	10040376	11.9771	0.4433	2.210000038
267626.94	10040381	12.4205	0.4434	2.178999901
268070.25	10040385	12.8638	0.44333	2.154999971
268513.56	10040390	13.3072	0.44334	2.131999969
268956.91	10040394	13.7505	0.44336	2.108999968
269400.22	10040399	14.1939	0.44334	2.085999966
269843.59	10040404	14.6373	0.4434	2.068000078
270286.91	10040408	15.0806	0.44333	2.062999964
270730.28	10040413	15.524	0.4434	2.051000118
271173.59	10040418	15.9673	0.44334	2.022000074
271616.97	10040423	16.4108	0.4434	1.995000005
272060.22	10040428	16.854	0.44328	1.972000003
272503.59	10040432	17.2974	0.44339	1.947000027
272946.91	10040437	17.7408	0.44334	1.909999967
273390.25	10040442	18.1841	0.44337	1.894999981
273833.56	10040447	18.6275	0.44334	1.883000016
274276.81	10040452	19.0708	0.44328	1.861999989
274720.13	10040457	19.5141	0.44334	1.843999982
275163.47	10040463	19.9575	0.44338	1.825999975
275606.81	10040468	20.4009	0.44337	1.794000003
276050.13	10040473	20.8442	0.44334	1.777999997
276493.47	10040478	21.2876	0.44337	1.776999995
276936.66	10040483	21.7308	0.44322	1.766999996
277380	10040489	22.1742	0.44338	1.725000024
277823.34	10040494	22.6175	0.44337	1.679000002
278266.63	10040499	23.0608	0.44331	1.649999976
278709.97	10040505	23.5042	0.44338	1.634999999
279153.22	10040510	23.9475	0.44328	1.615000001
279596.5	10040516	24.3908	0.44332	1.577999949
280039.84	10040521	24.8342	0.44337	1.531000018
280483.19	10040527	25.2776	0.44338	1.480000019
280926.44	10040532	25.7209	0.44328	1.432999969
281369.78	10040538	26.1642	0.44338	1.363000035
281812.94	10040544	26.6074	0.4432	1.274999976
282256.28	10040550	27.0508	0.44338	1.174000025
282699.59	10040555	27.4942	0.44334	1.034000039
283142.84	10040561	27.9375	0.44329	0

Lampiran 23 :Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat di atas

hs dengan breakwater arah barat atas	hs dengan breakwater arah barat bawah
2.381000042	2.381000042
2.377000093	2.381999969
2.372999907	2.381000042
2.371999979	2.380000114
2.371000051	2.378000021
2.369999886	2.375999928
2.367000103	2.374000072
2.362999916	2.371000051
2.352999926	2.368000031
2.342000008	2.365999937
2.332000017	2.362999916
2.321000099	2.358000004
2.309000015	2.354000092
2.306999922	2.349999905
2.323999882	2.348000005
2.345999956	2.351000071
2.361999989	2.351999998
2.358000004	2.348999977
2.329999924	2.345000029
2.288000107	2.342999935
2.236000061	2.335000038
2.180000067	2.328000069
2.142999887	2.319999933
2.081000009	2.308000088
1.985999942	2.286000013
1.853999972	2.239000082
1.626999974	2.164999962
1.343999982	2.092999935
1.162999988	2.040999889
1.052999973	2
0.960399985	1.960000038
0.885500014	1.921000004
0.757399976	1.883000016
0.549700022	1.850999951
0.450500011	1.83099997
0	1.819000006
0	1.799999952
0	1.771000028
0	1.738000035
0	1.695000052
0	1.638000011
0	1.590999961
0	1.554999948
0	1.526000023
0	1.498000026
0	1.465999961
0	1.417999983
0	1.376000047
0	1.350999951
0	1.338999987
0	1.324000001
0	1.299000025
0	1.274000049
0	1.253999949
0	1.226999998
0	1.199000001
0	1.164000034
0	1.105999947
0	1.062000036
0	1.036999941
0	1.014999986
0	0.959699988
0	0.907500029

Lampiran 24 :Data Grafik Dengan Breakwater dari Arah Barat Laut

hs dengan breakwater arah barat laut atas	hs dengan breakwater arah barat laut bawah
2.381000042	2.381000042
2.371000051	2.381999969
2.362999916	2.381000042
2.357000113	2.380000114
2.349999905	2.378000021
2.342999935	2.375
2.335999966	2.371000051
2.328999996	2.367000103
2.319999933	2.364000082
2.312999964	2.359999895
2.309000015	2.357000113
2.311000109	2.354000092
2.315999985	2.351000071
2.326999903	2.348000005
2.342999935	2.346999884
2.351999998	2.348000005
2.351999998	2.344000101
2.329999924	2.335000038
2.285000086	2.326999903
2.227999926	2.319999933
2.164000034	2.309999943
2.105999947	2.295000076
2.072999954	2.273999929
2.032000065	2.239000082
1.958999991	2.183000088
1.845999956	2.092999935
1.629999995	1.978999972
1.343000054	1.873999953
1.175999999	1.799999952
1.075999975	1.743999958
0.99119997	1.694000006
0.922800004	1.648000002
0.776799977	1.610999942
0.566699982	1.580000043
0.481700003	1.549999952
0	1.519000053
0	1.480000019
0	1.432999969
0	1.383000016
0	1.325000048
0	1.256999969
0	1.199000001
0	1.149000049
0	1.108000004
0	1.075999975
0	1.044000003
0	0.998000026
0	0.953800023
0	0.918399999
0	0.897300005
0	0.88410002
0	0.870599985
0	0.856700003
0	0.847400001
0	0.832499981
0	0.817099988
0	0.794499993
0	0.753000021
0	0.715300024
0	0.686699986
0	0.666199982
0	0.623499999
0	0.600600004

Lampiran 25 :Data Grafik Tanpa Breakwater dari Arah Barat Daya di atas

x coordinate	y coordinate	hs tanpa breakwater barat daya atas	Distance	Delta
255206.91	10040275	2.381000042	0	0
255656.45	10040278	2.380000114	0.44956	0.44956
256099.55	10040281	2.380000114	0.89266	0.4431
256542.94	10040284	2.381999969	1.33606	0.4434
256986.33	10040287	2.381999969	1.77946	0.4434
257429.7	10040290	2.381000042	2.22285	0.44339
257873.08	10040293	2.377000093	2.66623	0.44339
258316.45	10040297	2.369999886	3.10963	0.44339
258759.83	10040300	2.35800004	3.55301	0.44339
259203.19	10040303	2.344000101	3.99638	0.44337
259646.59	10040307	2.334000111	4.4398	0.44342
260089.94	10040311	2.326999903	4.88317	0.44336
260533.3	10040314	2.315000057	5.32654	0.44337
260976.66	10040318	2.311000109	5.76991	0.44338
261420.03	10040322	2.325000048	6.21331	0.44339
261863.39	10040326	2.338000059	6.65668	0.44338
262306.78	10040330	2.342999935	7.10009	0.44341
262750.13	10040334	2.328000069	7.54345	0.44336
263193.47	10040338	2.292000055	7.98682	0.44336
263636.81	10040342	2.240999937	8.43018	0.44336
264080.16	10040346	2.16899991	8.87354	0.44336
264523.5	10040350	2.085000038	9.3169	0.44336
264966.88	10040354	2.019000053	9.76029	0.44339
265410.19	10040359	1.952000022	10.2036	0.44334
265853.56	10040363	1.86500001	10.647	0.44339
266296.91	10040367	1.746999979	11.0904	0.44336
266740.28	10040372	1.552999973	11.5338	0.4434
267183.56	10040376	1.300999999	11.9771	0.4433
267626.94	10040381	1.105999947	12.4205	0.4434
268070.25	10040385	0.981400013	12.8638	0.44333
268513.56	10040390	0.89289999	13.3072	0.44334
268956.91	10040394	0.814400017	13.7505	0.44336
269400.22	10040399	0.730400026	14.1939	0.44334
269843.59	10040404	0.559599996	14.6373	0.4434
270286.91	10040408	0.443199992	15.0806	0.44333
270730.28	10040413	0	15.524	0.4434