

**PEMODELAN HIDRODINAMIKA PELABUHAN KALBUT**

**KABUPATEN SITUBONDO**

**SKRIPSI**

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Sains (S.Si) pada program studi Ilmu Kelautan



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

**Disusun Oleh :**

**ALFIAN FATWA**

**NIM. H94219040**

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2023**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Alfian Fatwa

NIM : H94219040

Program Studi : Ilmu Kelautan

Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "PEMODELAN HIDRODINAMIKA PELABUHAN KALBUT KABUPATEN SITUBONDO". Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiasi maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 5 Juli 2023

Yang bertanda tangan,



(Alfian Fatwa)

NIM.H94219040

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi Oleh

NAMA : ALFIAN FATWA

NIM : H94219040

JUDUL : PEMODELAN HIDRODINAMIKA PELABUHAN KALBUT  
KABUPATEN SITUBONDO

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Surabaya, 4 April 2023

Dosen Pembimbing I



Asri Sawiji, M.T., M.Sc.

NIP. 198706262014032003

Dosen Pembimbing II



Muhammad Yunan Fahmi, M.T.

NIP. 201409004

## LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Alfian Fatwa ini telah dipertahankan  
di depan tim penguji skripsi  
di Surabaya, 06 April 2023

Mengesahkan,

Dosen Penguji

Dosen Penguji I



(Asri Sawiji, S.T.,M.T.,M.Sc.)  
NIP.198706262014032003

Dosen Penguji II



(Muhammad Yunan Fahmi, S.T.,M.T.)  
NIP.201409004

Dosen Penguji III



(Noverma, M.Eng)  
NIP.198111182014032002

Dosen Penguji IV



(Mauludiyah, M.T)  
NIP.201409003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UN Sunan Ampel Surabaya



Saopul Hamdani, M.Pd  
NIP.196507312000031002



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA  
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : ALFIATI FATWA  
NIM : H99219090  
Fakultas/Jurusan : ILMU KELAUTAN  
E-mail address : Fianfatwaga1516@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi  Tesis  Desertasi  Lain-lain (.....)  
yang berjudul :

PEMODELATI HIDRODINAMIKA PELABUHAN KALBUT  
KABUPATEN SITUBONDO.

berserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya,

Penulis

  
( Alfiati Fatwa )  
nama terang dan tanda tangan

**ABSTRAK**  
**PEMODELAN HIDRODINAMIKA PELABUHAN KALBUT KABUPATEN**  
**SITUBONDO**

Oleh : Alfian Fatwa

Pelabuhan kalbut merupakan pelabuhan yang banyak digunakan untuk kegiatan logistik dengan rute kecil sampai besar. Sebagian besar aktivitas yang ada di pelabuhan ini merupakan aktivitas perikanan tangkap dan bongkar muat barang. Tingginya aktifitas di pelabuhan ini menjadi atensi khusus dalam hal keselamatan. Berdasarkan perhitungan dari tahun 2001-2007, 74% kasus kecelakaan yang ada di laut terjadi karena adanya gelombang yang tinggi dan angin kencang. Salah satu masalah yang dapat terkait dengan gelombang di pelabuhan Kalbut adalah gelombang tinggi dan kondisi gelombang yang tidak stabil. Hal ini dapat memiliki dampak negatif pada operasi kapal, kondisi tersebut membutuhkan pemahaman hidrodinamika guna menghindari atau meminimalisir efek negatif yang dapat terjadi di perairan Pelabuhan Kalbut, salah satunya dengan menggunakan pendekatan model. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tinggi gelombang yang terbentuk berdasarkan kecepatan angin serta menganalisa model Hidrodinamika Arus, Pasang Surut dan juga Gelombang di perairan Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo dengan menggunakan metode pemodelan numerik *software Delft3D*. Didapatkan hasil kondisi arus pada musim barat memiliki pola arus kearah Timur Laut dengan kecepatan berkisar antara 0 – 0,8 m/s pada saat pasang tertinggi dan arah arus cenderung mengarah ke Barat Daya dengan kecepatan berkisar antara 0 – 0,7 m/s pada saat surut terendah. Pada Musim Timur arus cenderung mengarah ke Barat Daya pada saat pasang tertinggi dengan kecepatan berkisar 0 – 0,5 m/s dan pada saat surut cenderung mengarah ke Timur Laut dengan kecepatan berkisar 0 – 0,4 m/s.

Kata Kunci : Arus, Pasang Surut, Gelombang, *Delft3D*

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

**ABSTRACT**  
**HYDRODYNAMIC MODELING OF KALBUT PORT, SITUBONDO**  
**REGENCY**

By : Alfian Fatwa

Kalbut Port is a port that is widely used for logistics activities with small to large routes. Most of the activities in this port are fishing activities and loading and unloading of goods. The high activity at this port is of particular concern in terms of safety. Based on calculations from 2001-2007, 74% of cases of accidents at sea occurred due to high waves and strong winds. One of the problems that can be associated with waves in the port of Kalbut is high waves and unstable wave conditions. This can have a negative impact on ship operations, these conditions require an understanding of hydrodynamics in order to avoid or minimize the negative effects that can occur in the waters of Kalbut Port, one of which is by using a modeling approach. This study aims to analyze the height of the waves formed based on wind speed and analyze the hydrodynamic models of currents, tides and also waves in the waters of Kalbut Port, Situbondo Regency using the *Delft3D* software numerical modeling method. The results show that current conditions in the west monsoon have a current pattern towards the Northeast with speeds ranging from 0 – 0.8 m/s at the highest tide and the direction of the current tends to be towards the Southwest with speeds ranging from 0 – 0.7 m/s at at the lowest ebb. In the East Monsoon the current tends towards the Southwest during the highest tide with speeds ranging from 0 – 0.5 m/s and at low tide it tends to lead to the Northeast with speeds ranging from 0 – 0.4 m/s.

Keywords : Current, Tide, Wave, *Delft3D*.

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Hidrodinamika.....	5
2.1.1 Pasang Surut.....	5
2.1.2 Arus Laut.....	8
2.2 Gelombang.....	9
2.2.1 Peramalan Gelombang.....	10
2.3 <i>Delft3D</i> .....	15
2.4 Penelitian Terdahulu.....	16
2.5 Integrasi Keilmuan.....	19
BAB III.....	21
METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.2 Alat dan Data.....	22
3.3 Sumber Data.....	22
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	23
3.4.1 Tahapan <i>Hindcasting</i> .....	24

3.4.2	Tahapan Simulasi Model.....	27
3.5.	Desain Model.....	29
3.5.1	Grid Pemodelan.....	29
3.5.2	Kondisi Batimetri.....	31
3.5.3	Parameter Model.....	32
3.6.	Input Model.....	34
3.6.1.	Flow Model.....	34
3.6.2.	Wave Model.....	40
BAB IV	.....	42
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	42
4.1	Kondisi Pasang Surut.....	42
4.2	Angin.....	43
4.2.1.	Distribusi Angin 2017-2019.....	44
4.2.2.	Distribusi Angin pada Muisim Barat.....	45
4.2.3.	Distribusi Angin pada Musim Timur.....	46
4.2.4.	Jarak Seret Angin ( <i>Fetch</i> ).....	48
4.3	Verifikasi Hasil Model.....	49
4.4	Peramalan Gelombang.....	50
4.5	Simulasi Gelombang dengan <i>software Delft3D</i> .....	51
4.5.1.	Gelombang pada Musim Barat.....	52
4.5.2.	Gelombang pada Musim Timur.....	54
4.6	Pola Arah dan Kecepatan Arus Pada Musim Barat.....	56
4.7	Pola Arah dan Kecepatan Arus Pada Musim Timur.....	59
BAB V	.....	62
KESIMPULAN	.....	62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	.....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Palm Pasang Surut .....	6
Gambar 2.2 Windrose, Sumber: Data pribadi .....	12
Gambar 2. 3 Hubungan kecepatan angin di laut dan di darat, Sumber (Triadmodjo, 1999).....	13
Gambar 2. 4 Fetch, sumber: google earth pro .....	14
Gambar 2. 5 Nanogram peramalan gelombang, Sumber: CERC, 1984 dalam (Kisnarti & Prasita, 2019).....	15
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian .....	21
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian .....	23
Gambar 3. 3 Diagram alir Hindcasting .....	24
Gambar 3. 4 Diagram Alir setting model.....	27
Gambar 3. 5 Grid besar .....	30
Gambar 3. 6 Grid kecil .....	30
Gambar 3. 7 Batimetri grid besar .....	31
Gambar 3. 8 Batimetri grid kecil.....	32
Gambar 3. 9 Domain layer <i>Delft3D</i> .....	35
Gambar 3. 10 Time Frame layer <i>Delft3D</i> .....	35
Gambar 3. 11 Processes layer <i>Delft3D</i> .....	36
Gambar 3. 12 Initial condition layer <i>Delft3D</i> .....	37
Gambar 3. 13 Boundaries <i>Delft3D</i> .....	37
Gambar 3. 14 Physical Parameters <i>Delft3D</i> .....	38
Gambar 3. 15 Wind Input <i>Delft3D</i> .....	39
Gambar 3. 16 Monitoring Layer <i>Delft3D</i> .....	39
Gambar 3. 17 Hydrodynamic Layer <i>Delft3D</i> .....	40
Gambar 3. 18 Grids Input <i>Delft3D</i> .....	41
Gambar 3. 19 Boundary Input <i>Delft3D</i> .....	41
Gambar 4. 1 Grafik Hasil Model Pasang Surut Perairan Kalbut .....	43
Gambar 4. 2 Mawar Angin 2017-2022 .....	44
Gambar 4. 3 Distribusi Angin pada Musim Barat.....	45
Gambar 4. 4 Mawar Angin pada Musim Barat .....	45
Gambar 4. 5 Distribusi Angin pada Musim Timur .....	47
Gambar 4. 6 Mawar Angin pada Musim Timur.....	47
Gambar 4. 7 Grafik Verifikasi Data Pasang Surut .....	50
Gambar 4. 8 Model Gelombang Periode Angin Barat .....	53
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Gelombang Tanpa Adanya Breakwater dan Saat Adanya Breakwater Pada Musim Barat .....	53
Gambar 4. 10 Model Gelombang Periode Angin Timur.....	55
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Gelombang Tanpa Adanya Breakwater dan Saat Adanya Breakwater Pada Musim Timur .....	56
Gambar 4. 12 Grafik Kecepatan Arus Pada Musim Barat .....	56

Gambar 4. 13 Pola Arus Pada Saat Pasang Tertinggi di Musim Barat ..... 57  
Gambar 4. 14 Pola Arus Pada saat surut terendah di Musim Barat ..... 58  
Gambar 4. 15 Grafik Kecepatan Arus Pada Musim Timur..... 59  
Gambar 4. 16 Pola Arus Pada Saat Pasang Tertinggi di Musim Timur ..... 60  
Gambar 4. 17 Pola Arus Pada Saat Surut Terendah Di Musim Timur ..... 60



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Pasang Surut Berdasarkan Nilai Fromzahl .....	8
Tabel 3. 1 Perangkat yang digunakan .....	22
Tabel 3. 2 Sumber Data.....	22
Tabel 3. 3 Parameter pemodelan .....	33
Tabel 3. 4 Parameter pemodelan gelombang .....	34
Tabel 4. 1 Konstanta Harmonik Pasang Surut Perairan Pelabuhan Kalbut .....	42
Tabel 4. 2 Karakteristik Pasang Surut dan Nilai Bilangan Fromzal .....	42
Tabel 4. 3 Perhitungan <i>Fetch</i> Efektif .....	48
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_s$ ) dan Peiode Gelombang Laut dalam rata-rata ( $T$ ).....	51



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Sektor perekonomian laut adalah salah satu sektor yang patut untuk diperhitungkan keberadaannya, salahsatunya merupakan kegiatan pelayaran. Banyaknya peristiwa kecelakaan di wilayah perairan khususnya di laut Indonesia pada saat ini perlu menjadi atensi kusus oleh berbagai pihak, tidak hanya oleh pemilik kapal akan tetapi juga pembuat, pelaksana kebijakan dan juga masyarakat. Faktor yang dapat mempengaruhi kecelakaan atau aktivitas pelayaran antara lain cuaca yang buruk akibat gelombang tinggi dan juga angin, kelebihan muatan dari daya angkut yang telah ditetapkan, berdasarkan perhitungan dari tahun 2001-2007, 74% kasus kecelakaan yang ada di laut terjadi karena adanya gelombang yang tinggi (pelindo, 2012 dalam (Dewi, Pratomo, & Jaya, 2012).

Pelabuhan Kalbut merupakan salah satu pelabuhan yang terletak pada wilayah Kabupaten Situbondo. Pelabuhan ini merupakan pelabuhan yang banyak digunakan untuk aktivitas logistik dengan rute kecil, kapal yang banyak ditemukan di pelabuhan tersebut merupakan kapal-kapal kecil. Tidak hanya kapal kecil yang terdapat pada pelabuhan terebut melinkan juga kapal-kapal tangker pengangkut *Liquified Petroleum Gas* (LPG) dan juga minyak mentah (Rustam, C, & Nur, 2016). Pelabuhan ini merupakan pelabuhan yang mayoritas berfungsi sebagai pelabuhan tangkap. Sebagian besar aktivitas yang ada di pelabuhan ini merupakan aktivitas tangkap dan bongkar muat barang. Tercatat menurut *website Marine Traffict* 76% kapal tangker yang berada pada pelabuhan ini merupakan kapal pengangkut LPG dan 8% merupakan kapal pengangkut minyak. Panjang maksimum kapal yang tercatat memasuki pelabuhan ini yaitu 230 meter dengan *draft* maksimum 12 meter dan bobot mati maksimum adalah 58.811 ton.

Berbagai kegiatan yang ada di perairan pelabuhan kalbut seperti aktivitas bongkar muat kapal tangker (*ship to ship*). Kegiatan bongkar muat pada kapal barang turut berpengaruh dalam proses pencemaran dengan menghasilkan limbah yang nantinya akan terbuang ke laut. Berbagai kegiatan yang dapat mencemarkan ini dapat menyebar ke kawasan lain oleh gerakan masa air, yang pada tahap selanjutnya akan menimbulkan dampak negatif terhadap kegiatan lain di pelabuhan (Sianturi, Widada, Prasetyawan, & Franto, 2013).

Salah satu masalah yang terdapat di pelabuhan Kalbut adalah gelombang tinggi dan kondisi gelombang yang tidak stabil. Hal ini dapat memiliki dampak negatif pada operasi kapal, keselamatan pelayaran, dan aktivitas bongkar muat di pelabuhan. Maka perlu adanya pemahaman hidrodinamika untuk meminimalisir dampak negatif yang dapat terjadi di Pelabuhan Kalbut yang akan mengganggu aktivitas pelayaran pada Pelabuhan tersebut. Terdapat beberapa cara yang dapat diaplikasikan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut antara lain dengan menggunakan pemodelan hidrodinamika, cara ini dirasa lebih menekan biaya, fleksibel atau dapat dilakukan dimana saja, saat melakukan tahapan pemodelan dapat menggunakan beberapa skenario atau pengandaian serta dirasa cukup efisien (Sianturi, Widada, Prasetyawan, & Franto, 2013).

Terdapat 2 skenario yang akan dimodelkan berdasarkan musim yang terjadi antara lain musim barat dan juga musim timur. Dimana setiap musim akan berpengaruh terhadap cuaca dan keadaan fisik suatu perairan. Dalam penelitian ini juga akan dilakukan pendugaan terhadap tinggi gelombang yang ada di perairan pelabuhan kalbut berdasarkan kecepatan angin dengan menggunakan metode *Fetch*. Tinggi gelombang (H) penting untuk diketahui sebagai tindakan antisipasi agar pelaut lebih waspada (Dewi, Pratomo, & Jaya, 2012). Penelitian ini penting untuk dilakukan dikarenakan model yang nantinya akan dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan atau rujukan untuk pembangunan pelabuhan berkelanjutan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Berapa tinggi gelombang yang terbentuk berdasarkan kecepatan angin yang ada di Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo?
2. Bagaimana model hidrodinamika di perairan Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian dari rumusan masalah diatas antara lain:

1. Menganalisa tinggi gelombang yang terbentuk berdasarkan kecepatan angin yang ada di pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo.
2. Menganalisa model hidrodinamika pada perairan Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah dapat memberikan data berupa model hidrodinamika arus pasang surut pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo dan juga ketinggian gelombang yang dapat menjadi informasi tambahan kepada pembaca untuk keselamatan aktivitas pelayaran di pelabuhan.

## **1.5 Batasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang diolah berupa data Hidro-Oseanografi Arus, Pasang surut, dan juga angin.
2. Dilakukan 2 skenario sebagai pembanding dengan menggunakan pendekatan musim.
3. Model hidrodinamika yang dimaksud dalam penelitian ini adalah model arus, pasang surut dan gelombang.
4. Pengolahan data Hidro-Oseanografi menggunakan perangkat lunak Delft 3D.
5. Luasan area yang dimodelkan sebesar 1 km<sup>2</sup>.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Hidrodinamika

Hidrodinamika merupakan cabang ilmu yang mempelajari tentang gerak suatu cairan atau gerak suatu *fluida* cair, dalam bidang oseanografi hidrodinamika adalah ilmu yang mempelajari gerak air. Salah satu aspek yang berpengaruh terhadap proses-proses di pantai adalah dinamika fluida terutama arus dan juga gelombang (Suryono, et al., 2021). Dalam lautan terdapat beberapa macam dinamika fluida yang dapat kita pelajari antara lain hidrodinamika pasang surut, hidrodinamika arus laut, hidrodinamika transport sedimen dan juga hidrodinamika gelombang (Suryono, et al., 2021).

##### 2.1.1 Pasang Surut

Fluktuasi muka air laut yang terjadi karena adanya gaya tarik benda-benda langit seperti bulan dan matahari terhadap massa air di bumi merupakan definisi dari pasang surut (Triadmodjo, 1999). Dalam bidang oseanografi pasang surut merupakan salah satu cabang ilmu utama. Data pasang surut sangat penting dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti navigasi, pembangunan atau pengembangan suatu pelabuhan, pembangunan pemecah gelombang, jembatan laut, penentuan datum dalam peta hidrografi, pemasangan pipa atau kabel bawah laut, dan lain sebagainya (Kisnarti & Prasita, 2019).

Untuk memperoleh data pasang surut pada suatu lokasi perlu dilakukan pengamatan dalam rentang waktu tertentu. Rentang waktu pengamatan dan pengambilan data pasang surut baiknya dilakukan selama selang waktu periodeisasi benda langit yang berpengaruh terhadap pasang surut. Lama waktu yang biasa dilakukan untuk pengamatan pasang surut adalah 15 atau 29 piantan dengan ketentuan 1 piantan sama dengan 25 jam dan dengan interval waktu pengambilan data 15, 30, sampai 60 menit sekali (Poerbandono & Djunasjah, 2005).

Pengamatan pasang surut dapat dilakukan dengan menggunakan 2 cara yaitu dengan menggunakan *palm* atau rambu pasang surut. Pengamatan dengan menggunakan rambu pasut juga disebut sebagai pengamatan yang dilakukan secara manual oleh pencatat dan dicatat pada kertas pengamatan pasang surut yang telah dibuat. Pada *palm* pasut telah ditulis angka-angka skala bacaan yang biasa ditulis dalam satuan desimeter.



Gambar 2. 1 *Palm* Pasang Surut

Pencatat akan menuliskan posisi muka air sesuai dengan kedudukan nilai yang ada pada *palm* sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan. Tinggi *palm* yang dipasang menyesuaikan dengan keadaan lokasi penelitian dimana syarat pemasangan rambu pasang surut, jika suatu perairan berada pada posisi surut paling rendah *palm* masih dapat terbaca dan pada saat pasang tertinggi *palm* tidak tenggelam (Kisnarti & Prasita, 2019).

Dalam pengamatan pasang surut perlu adanya pengikatan stasiun pasang surut (rambu pasut) dengan titik acuan yang ada di daratan

(*Bench mark*) untuk mengetahui kedudukan titik nol *palm*. Pengikatan stasiun pasang surut dilakukan dengan menggunakan sipat datar atau menentukan beda tinggi nol *palm* relatif terhadap bench mark (Kisnarti & Prasita, 2019). Teknologi pengamatan pasang surut pada saat ini telah mengalami banyak kemajuan, tidak lagi dengan menggunakan cara manual. Pencatatan tinggi muka air laut pada saat ini dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan alat yang disebut *tide gauge*. Alat ini memiliki dua tipe antara lain jenis pelampung (*floating tide gauge*) dan juga jenis tekanan (*pressure tide gauge*).

Untuk menganalisa jenis pasang surut pada suatu perairan terdapat berbagai cara antara lain dengan menggunakan metode *admiralty*. Metode ini dilakukan dengan memasukkan komponen-komponen harmonik kedalam rumus untuk mendapatkan nilai *fromzahl* yang dapat digunakan untuk meramalkan pasang surut. Komponen yang digunakan dalam menentukan tipe pasang surut adalah  $O_1$ ,  $K_1$ ,  $S_2$ , dan  $M_2$ . dengan keempat unsur tersebut, sifat pasang surut dapat ditentukan dengan menggunakan rumus *fromzahl* (Poerbandono & Djunasjah, 2005).

$$NF = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \quad (2.1)$$

Dengan ketentuan:

NF = nilai *fromzahl*

$AK_1, AO_1$  = amplitudo pasang surut harian utama

$AM_2, AS_2$  = amplitudo pasang surut ganda utama

Gelombang di setiap daerah bisa berbeda. Secara umum pasut diklasifikasikan menjadi 4 jenis, yaitu pasut harian ganda (*diurnal tides*), pasut harian tunggal (*diurnal tides*), dan 2 pasang surut campuran. Bentuk gelombang dapat diidentifikasi berdasarkan nilai *fromzahl* yang diperoleh berdasarkan uraian berikut, sebagai: (Kisnarti & Prasita, 2019):

Tabel 2. 1 Jenis Pasang Surut Berdasarkan Nilai *Fromzahl*

Jenis Pasang Surut	Nilai <i>Fromzahl</i>	Keterangan
<b>Pasang surut tunggal</b>	$F > 3,0$	Satu hari terdapat satu kali pasang dan satu kali surut
<b>Pasang surut ganda</b>	$F < 0,25$	Terjadi 2 kali pasang dan juga 2 kali surutan tetapi tinggi dan periode yang berurutan dan hampir sama
<b>Pasang surut campuran cenderung tunggal</b>	$1,5 < F < 3,0$	Terdapat satu kali air tinggi dan juga satu kali air rendah tetapi kadang terjadi dua kali pasang dan surut
<b>Pasang surut campuran cenderung ganda</b>	$0,25 < F < 1,5$	Dalam satu hari terdapat dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda

### 2.1.2 Arus Laut

Arus adalah peningkatan jumlah air yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk perbedaan kepadatan, angin di permukaan laut sehingga membentuk pola sirkulasi arus yang unik. (Hadi & Radjawane, 2009). Mengetahui bentuk arus sangat penting. Selama siklusnya, arus memiliki kecepatan dan arah. Hal ini menyebabkan arus

laut membentuk pola gerak di suatu daerah aliran sungai. Untuk mendukung aktivitas di dalam fluida, pola gerak saat ini dapat digunakan sebagai informasi tambahan untuk mendukung aktivitas di dalam fluida (Permadi, Indrayanti, & Rochaddi, 2015).

Angin yang berhembus pada permukaan laut tidak hanya akan menimbulkan gelombang akan tetapi juga arus laut. Tekanan dan gesekan angin yang terjadi pada permukaan lautan akan menciptakan gaya dorongan lapisan yang ada dibawanya dan akan membentuk arus permukaan. Kecepatan aliran akan mulai berkurang seiring semakin pada kedalaman karena viskositas air laut (Hadi & Radjawane, 2009).

Stres angin yang terjadi pada permukaan laut akan berbanding lurus dengan kecepatan angin kuadrat dengan rumus sebagai berikut.

$$\tau = c \cdot w^2 \quad (2.2)$$

Dimana :

$\tau$  = stres angin

$W$  = kecepatan angin

$C$  = konstanta

Arus yang bergerak sejajar dengan pantai disebut dengan longshore current, sedangkan konsentrasi arus yang bergerak dari pantai dan berhenti di tengah laut disebut dengan rip current (Muliati, 2020).

## 2.2 Gelombang

Pasang surut air laut adalah fenomena naik turunnya permukaan air laut yang meningkat selama periode waktu tertentu atau selama periode waktu yang singkat. Ombak dapat terbentuk di air laut atau genangan air apa pun saat air pasang. Hal ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal dalam hal ini adalah gaya gravitasi dan angin, sedangkan faktor internal seperti gempa bumi atau tsunami juga dapat terjadi karena perbedaan densitas air. (Purba & Pranowo, 2015).

Terdapat tiga faktor yang dapat menentukan karakter gelombang yang dibangkitkan oleh angin antara lain kecepatan angin, seberapa lama angin bertiup, dan juga jarak yang ditempuh angin (*fetch*) (Kisnarti & Prasita, 2019).

### **2.2.1 Peramalan Gelombang**

Gelombang adalah salah satu faktor utama yang berpengaruh terhadap kegiatan pesisir. Besaran dan arah gelombang adalah segmen yang terdapat pada gelombang, hal tersebut dirasa cukup kompleks dan perlu melakukan analisa khusus untuk mendapatkan sifat suatu gelombang. Untuk mendapatkan berbagai karakteristik gelombang seperti peluang terjadinya gelombang, tinggi dan periode gelombang, dan juga gelombang ekstrim atau gelombang dengan periode tertentu. Dalam proses pengukuran gelombang untuk mendapatkan data dibutuhkan alat ukur khusus yang diletakkan di lepas pantai, kegiatan tersebut memakan banyak biaya dan juga waktu yang tidak sedikit. Dengan kondisi tersebut, peramalan gelombang merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan menggunakan data angin kita dapat mengetahui tinggi dan juga periode gelombang yang ada pada suatu perairan (Putra, Husrin, & Ridwan, 2013).

#### **1. Analisis Distribusi Kecepatan Angin**

Angin menurut (Kisnarti & Prasita, 2019), merupakan udara yang bergerak dari daerah dengan tekanan tinggi menuju daerah dengan tekanan rendah, Perbedaan tekanan tersebut terjadi karena adanya perbedaan temperatur di suatu wilayah.

Pengambilan data angin dilakukan menggunakan alat anemometer yang diletakkan di darat sehingga data angin yang didapatkan merupakan data angin yang berhembus di daratan, berdasarkan hal tersebut perlu dilakukannya konversi sehingga seolah-olah data yang ada merupakan data angin yang berhembus di lautan. Data angin yang didapatkan merupakan data angin hasil

pengukuran dengan ketinggian 10 meter diatas permukaan tanah. Hal tersebut dilakukan dengan alasan pada ketinggian tersebut data angin yang didapatkan cenderung stabil, jika data angin yang didapatkan merupakan hasil pengukuran dengan ketinggian kurang dari 10 meter maka perlu dilakukan koreksi dengan rumus sebagai berikut (Triadmodjo, 1999).

$$U(10) = U(y) \left( \frac{10}{y} \right)^{0.1} \quad (2.3)$$

Dengan ketentuan

U = kecepatan angin

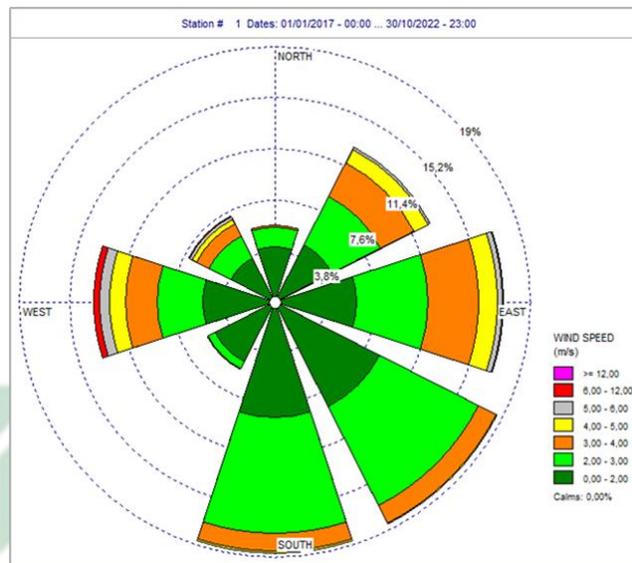
U (10) = kecepatan angin pada ketinggian 10 meter

Y = elevasi terhadap tinggi muka air dengan nilai y lebih kecil dari 20 meter.

## 2. Konversi Kecepatan Angin

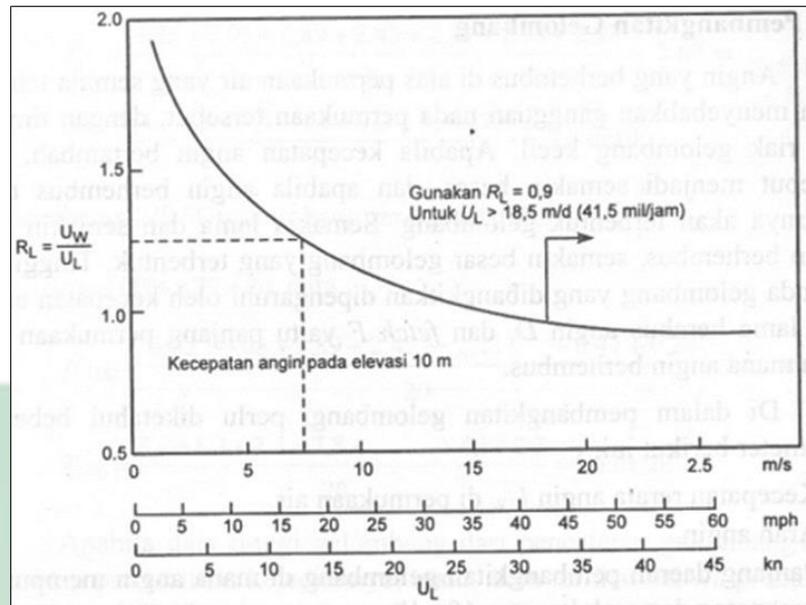
Data angin darat sering diambil untuk suatu keperluan yang kemudian akan di konversi untuk mendapatkan data angin laut. tetapi data angin juga dapat diperoleh dari pengukuran yang dilakukan langsung di kapal atau zona prediksi gelombang. Secara umum, kecepatan angin memiliki satuan knot. Satuan knot adalah kecepatan berdasarkan jarak 1 mil laut, 1 knot = 1,852 km/jam = 0,5 m/s (Kisnarti & Prasita, 2019).

Data angin yang disediakan adalah data angin terukur yang direkam setiap jam dan memiliki kecepatan angin maksimum, arah angin dan kecepatan angin harian juga dapat dihitung untuk disajikan dalam bentuk tabel di. Data tersebut ditangkap pada interval yang dibutuhkan yang nantinya akan diolah dan disajikan dalam format grafik *windrose* sehingga data yang disajikan tidak terlalu banyak dan lebih mudah dibaca.



Gambar 2.2 Windrose, Sumber: Data pribadi

Dalam gambar tersebut berisikan data-data angin seperti arah angin dalam periode tertentu, kecepatan angin dalam waktu pengukuran satu tahun. Garis-garis lingkaran yang terdapat pada gambar menunjukkan persentase kejadian angin dalam periode waktu saat pengukuran. Data angin tersebut merupakan data angin yang ada di atas daratan sehingga perlu dilakukan konversi menjadi data angin di atas permukaan laut dengan menggunakan rumus atau grafik pada Gambar 2.3. diagram mawar angin juga dapat memberikan informasi mengenai arah angin dominan yang ada pada lokasi studi dengan memasukkan data kedalam *earth pro* untuk proses visualisasi.



Gambar 2. 3 Hubungan kecepatan angin di laut dan di darat, Sumber (Triadmodjo, 1999)

Nilai ( $U_L$ ) adalah nilai kecepatan angin di atas laut berdasarkan pengukuran. Dengan memasukkan nilai kecepatan angin di darat, kita dapat mencari nilai  $R_L$ , yaitu nilai yang diperoleh dari gambar 2.3 yang menunjukkan hubungan antara kecepatan angin darat dan laut. untuk menentukan nilai kecepatan angin di laut sebagai berikut (CERC, 1984 dalam (Kisnarti & Prasita, 2019):

$$U_w = R_L \times U_L \quad (2.4)$$

Dengan ketentuan:

$U_w$  = kecepatan angin di atas permukaan laut (m/s)

$R_L$  = nilai yang didapatkan berdasarkan grafik hubungan antara kecepatan angin di darat dan di laut

$U_L$  = kecepatan angin yang ada di atas daratan (m/s)

Setelah kecepatan angin di laut didapatkan selanjutnya kecepatan tersebut akan dikonversi kedalam faktor tegangan angin ( $U_A$ ) yang nantinya akan digunakan untuk pencarian nilai Ketinggian dan juga periode gelombang (CERC, 1984 dalam (Kisnarti & Prasita, 2019):

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad (2.5)$$

Dengan ketentuan :

$U_A$  = faktor tegangan angin dalam m/s

$U$  = kecepatan angin dalam m/s

### 3. *Fetch*

*Fetch* dapat diartikan sebagai daerah tanpa halangan yang ada di atas air dimana angin dapat berhembus tanpa ada halangan dan dapat membangkitkan gelombang. Dalam penarikan *fetch* dibatasi oleh garis pantai terluar pulau dimana *fetch* ditarik. Untuk mencari tinggin dan juga periode gelombang perlu diketahui nilai *fetch* efektif dengan persamaan sebagai berikut (CERC, 1984 dalam (Kisnarti & Prasita, 2019):

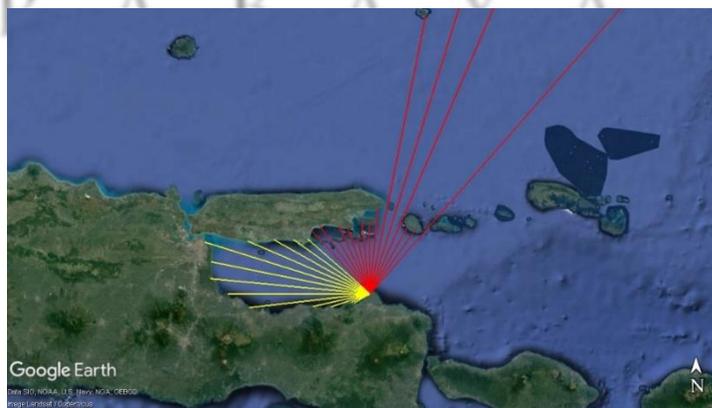
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (2.6)$$

Dengan ketentuan:

$F_{eff}$  = *fetch* efektif

$X_i$  = panjang *fetch* yang diukur dari titik pengamatan gelombang

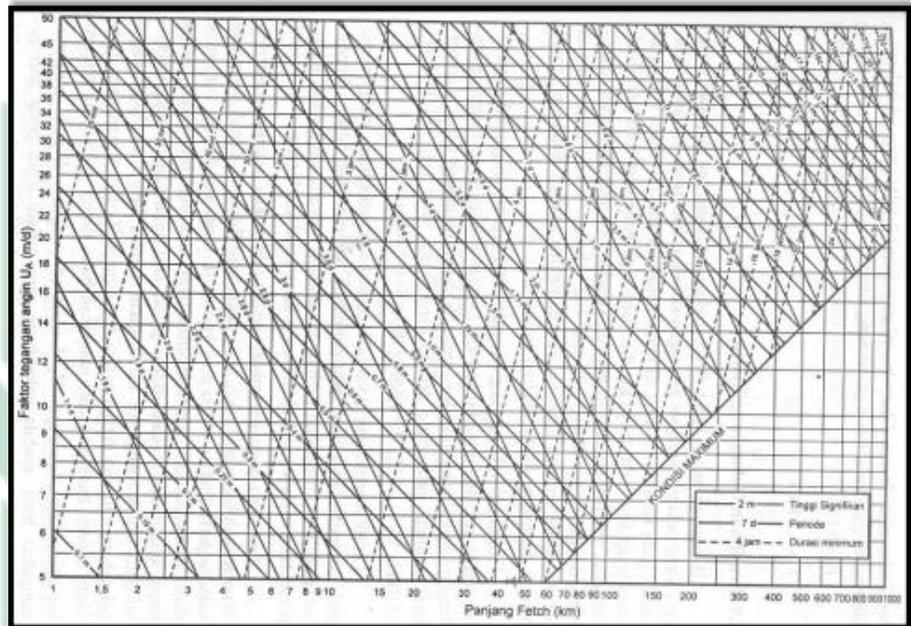
$\alpha$  = derajat pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan sudut sebesar  $6^\circ$  sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin



Gambar 2. 4 *Fetch*, sumber: google earth pro

#### 4. Peramalan Gelombang di Laut

Prakiraan gelombang dapat dibuat jika nilai *Fetch* efektif serta faktor tekanan udara ( $U_A$ ) diketahui. Dari nilai tersebut, tinggi gelombang ( $H$ ) dan periode gelombang ( $T$ ) dapat ditentukan berdasarkan grafik pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Nanogram peramalan gelombang, Sumber: CERC, 1984 dalam (Kisnarti & Prasita, 2019)

### 2.3 Delft3D

*Delft3D* adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh deltares sebagai perangkat lunak komputer terintegrasi yang unik untuk Multi-disiplin. Metode dan perhitungan wilayah pesisir, sungai dan daerah aliran sungai dapat dilakukan dengan mensimulasikan data pasang surut, sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan fisik, dan faktor lingkungan yang akan mereka tiru. Para ahli dan non-ahli mengembangkan *Delft3D Suite*, yang terdiri dari beberapa modul yang dapat berinteraksi untuk sementara waktu. Sehubungan dengan manual *Delft3D-FLOW*, salah satu modul ini adalah simulasi hidrodinamika multi-dimensi (2D dan 3D), sebuah sistem yang menghitung efek aliran dan arus dari gelombang dan gaya cuaca dengan batas persegi

panjang atau melengkung, yang ditumpangkan pada grid untuk mendapatkan metode koordinat perkiraan (Manual, 2022).

Modul Flow pada *Delft3D* adalah acuan dalam memodelkan data hidrodinamika 2D dan 3D yang mensimulasikan program untuk menghitung fenomena aliran yang dinamis karena pasang surut dan meteorologis pada kurva linear, sehingga membutuhkan grid. *Delft3D* juga memperhitungkan aliran masuk dari sungai dan sumber titik lainnya. Model digunakan sebagai input parameter fisik air dan memberikan distribusi 3D sebagai output, lalu hasil dari model *Delft3D-Flow* adalah dasar untuk perhitungan proses hidrodinamika dengan menggunakan model kualitas air. Model ini didasarkan pada persamaan gerak dan kontinuitas yang tidak stasioner. Pada persamaan diselesaikan secara numerik menggunakan sistem lengkung ortogonal koordinat horizontal yang memberikan pemasangan grid yang baik dengan bentuk area yang dimodelkan (Bielecka dan Kazmierski, 2003)

#### 2.4 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Pemodelan Hidrodinamika Sederhana Berdasarkan Data Hidro-Oseanografi Sederhana Di Teluk Lampung.	Sianturi, <i>et al.</i> , 2013	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi hidrodinamika dengan cara pemodelan dengan menggunakan data Hidro-Oseanografi	Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode numerik yang mensimulasikan level muka air laut dan alirannya pada daerah estuari.	Berdasarkan hasil model didapatkan hasil bahwa perairan teluk lampung memiliki tipe pasang surut campuran cenderung ganda dengan kecepatan arus berkisar

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
					antara 0.06-0.08 m/s.
2.	Pendugaan Tinggi Gelombang Berdasarkan Kecepatan Angin Pada Zona Alur Pelayaran Di Perairan Tanjung Pinang	Dewi, <i>et al.</i> , 2012	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meramalkan tinggi gelombang yang tercipta berdasarkan kecepatan angin.	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode peramalan gelombang dengan menggunakan <i>n fetch</i> .	Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan tinggi gelombang dan juga periode gelombang berkisar antara 0,2-1,5 m dengan periode 1,6 – 1,8 detik.
3.	"Studi Arus Pada Perairan Laut Di Sekitar PLTU Sumur Adem Kabupaten Indramayu,	Permasi, <i>et al.</i> , 2015.	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola serta karakteristik arus, kecepatan dan juga arah di perairan	Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode pemodelan numerik dengan menggunakan <i>software DHI mike 21</i> .	Hasil dari penelitian ini menunjukkan arus pada perairan sekitar PLTU Sumuradem bergerak ke arah timur laut pada saat surut dengan

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
	Provinsi Jawa Barat”		PLTU Sumuradem.		kecepatan 0.017-0.11 m/s.
4.	Pemodelan Hidrodinamika Dan Transport Sedimen Di Perairan Pesisir Sekitar Ranjung Pontang, Kabupaten Serang – Banten	Prinhan tono, <i>et al.</i> , 2018.	Tujuan dari penelitian ini untuk memodelkan hidrodinamika dan juga transport sedimen dengan menggunakan perangkat lunak Mike 21 untuk membuktikan proses abrasi dan kekeruhan di Tanjung Pontang.	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode numerik dengan memodelkan pola dan kecepatan arus serta sebaran sedimen pada dua musim.	Dalam penelitian ini berhasil membuktikan dan menjelaskan adanya indikasi abrasi dan sedimentasi pada perairan sekitar Tanjung Pontang berdasarkan model numerik.
5.	Pemodelan Kecepatan Arus dan Tinggi Gelombang	Syahputra dan Heny, 2019.	Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran	Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu	Hasil dari penelitian ini yaitu persebaran tinggi

No	Judul	Penulis	Tujuan	Metode	Hasil
	Pada Rencana <i>Breakwater</i> Kolam Pelabuhan Meulaboh Dengan Menggunakan Program <i>Delft3D</i>		terhadap dampak maupun respon hidrodinamika kawasan kolam pelabuhan Meulaboh dan menganalisis letak kontruksi <i>Breakwater</i> .	pemodelan numerik dengan menggunakan <i>software Delft3D</i> .	gelombang (H) saat angin dari Barat daya dengan $H_s = 4.908$ m dan $T_s = 7.254$ detik dimana gelombang dominan dari Barat Daya tertahan oleh <i>Breakwater</i> .

## 2.5 Integrasi Keilmuan

Pelabuhan kalbut merupakan pelabuhan dengan aktivitas yang cukup padat diantaranya adalah aktivitas bongkar muat barang dan juga aktivitas *ship to ship*. Banyak sekali masalah yang dapat diberikan karena adanya aktivitas dalam pelabuhan tersebut. Banyaknya kemaslahatan yang dapat diambil bukan berarti kita dapat mengesampingkan bahaya-bahaya yang dapat terjadi dalam perairan tersebut. adapun keutaman dalam mengantisipasi bahaya yang dapat terjadi atau kemudhorotan dibandingkan dengan mengambil kemaslahatan yang ada didalamnya. Seperti kaidah fiqih berikut:

دَرْءُ الْمَفَاسِدِ أَوْلَىٰ مِنْ جَلْبِ الْمَصَالِحِ

Arti dari kaedah ini yaitu ketika di dalam suatu lokasi atau hal yang berbenturan antara menghilangkan suatu kemudharatan dengan mengambil suatu kemaslahatannya maka lebih didahulukan menghilangkan kemudharatan.

Kecuali mudharat itu lebih kecil dibandingkan dengan maslahat yang didapatkan.

Allah SWT juga menerangkan dalam ayatnya yaitu pada Al-Qur'an Surah Al-Jaziyah ayat 5 dan juga 12 berkenaan dengan kekuasaan Allah SWT atas lautan dan segala yang ada di atasnya.

وَإِخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَمَا أَنْزَلَ اللَّهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ رِزْقٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَتَصْرِيفِ الرِّيْحِ  
أَيُّ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ

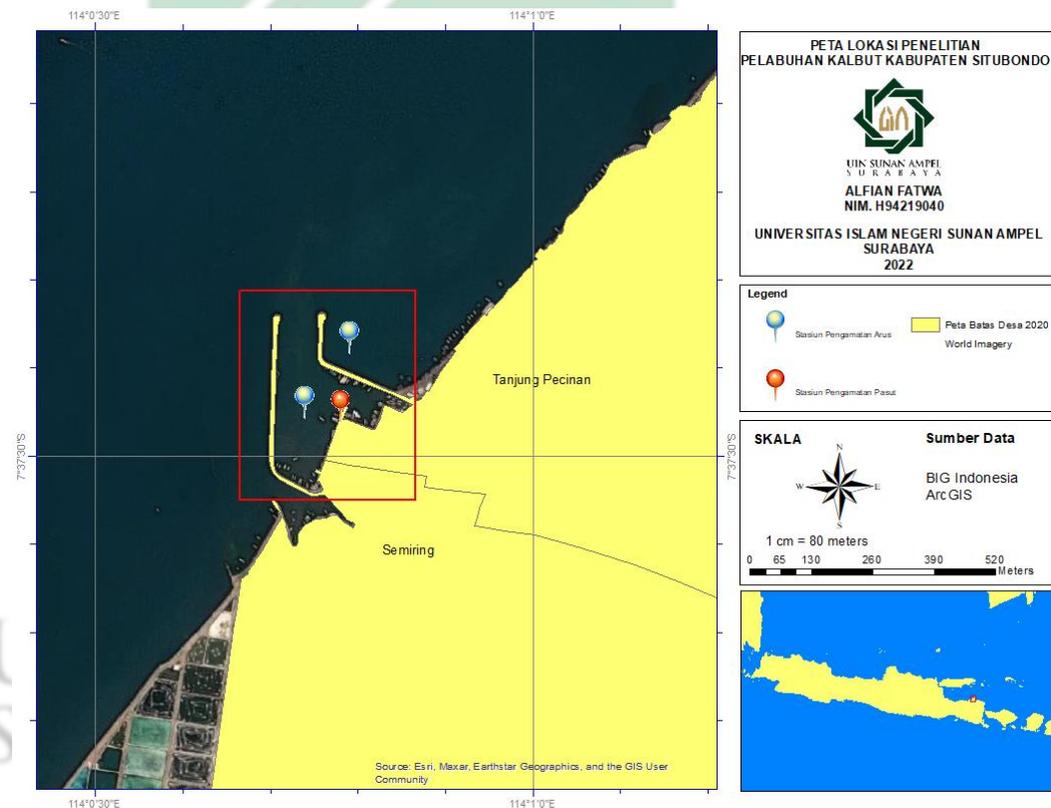
Adapun tafsir yang menjelaskan tentang surah Al-Jaziyah ayat 5 sebagai berikut “dan pada perbedaan malam dan siang, yang datang silih berganti, malam datang lalu siang pergi, dan pada apa yang diturunkan Allah dari langit, seperti hujan sebagai rezeki lalu dengan air hujan itu di hidupkan-Nya bumi setelah matinya, yaitu kering, dan demikian pula pada perkisaran angin ke berbagai arah, perbedaan suhu dan kekuatannya serta manfaat dan bahayanya, terdapat pula tanda-tanda keesaan, kekuasaan, dan kebesaran Allah bagi kaum yang mengerti.” Diterangkan juga pada surah Al-Jaziyah ayat 12 “Tidakkah kalian perhatikan, wahai manusia, bahwa Allah Yang Maha Esa lagi Mahakuasa-lah yang telah menundukkan laut, yakni memudahkannya untuk kemaslahatan kamu agar kapal-kapal dapat berlayar di atasnya membawa kamu dan barang-barang keperluanmu hingga ke tempat tujuan dengan izin dan perintah-Nya, dan agar kamu dapat mencari sebagian karunia-Nya, yang berupa hasil laut, seperti ikan dan hasil laut lainnya, dan juga agar kamu bersyukur atas nikmat-nikmat Allah yang di anugerahkan-Nya itu.”

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini terletak di Pelabuhan Kalbut. Pelabuhan Kalbut merupakan salah satu pelabuhan yang terletak di Kecamatan Mangaran, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur 68363. Secara geografis Pelabuhan Kalbut terletak pada koordinat  $7^{\circ}37'29.50''$  S dan  $114^{\circ}00'46.27''$  E.



Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian

Berdasarkan peta 3.1 lokasi pengambilan pasang surut terletak pada koordinat  $7^{\circ}37'26.76''$  S dan  $114^{\circ} 0'46.88''$  E. Data pasang surut diambil selama satu bulan yaitu pada bulan Maret 2021.

### 3.2 Alat dan Data

Tabel 3. 1 Perangkat yang digunakan

No.	Alat	Fungsi
1.	Laptop dengan spesifikasi Windows 10	Berfungsi untuk menjalankan perangkat lunak
2.	WRPlot	Berfungsi untuk mengolah data arah dan kecepatan angin
3.	Google Earth Pro	Berfungsi untuk menghitung panjang fecth
4.	Delft 3D	Berfungsi untuk mengolah dan memodelkan data arus, pasang surut
5.	Arcgis	Berfungsi sebagai software pendukung pengolahan data
6.	<i>Ocean Data View (ODV)</i>	Berfungsi untuk membaca data angin yang berasal dari ECMWF dengan format NetCDF
7.	Global Mapper	Berfungsi sebagai software pendukung pengolahan data

### 3.3 Sumber Data

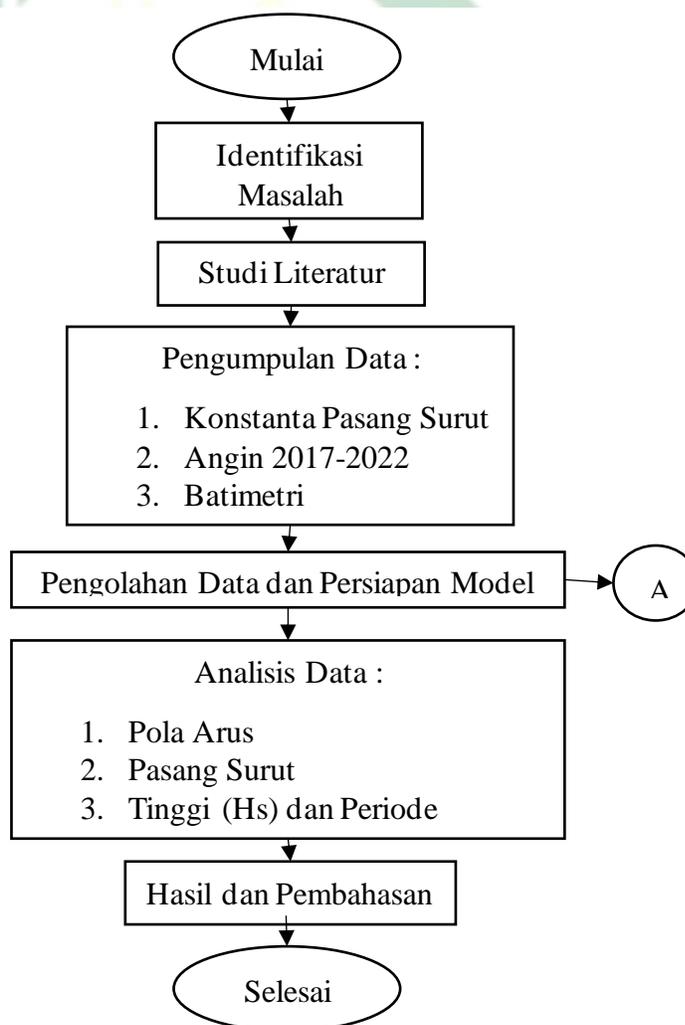
Tabel 3. 2 Sumber Data

No.	Data	Sumber
1.	Data Pasang Surut	Distrik Navigasi Kelas I Surabaya
2.	Densitas Air Laut	<i>Delft3D Flow Input</i>
3.	Data Angin 2017-2022	ERA5 The European Centre For Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)

No.	Data	Sumber
4.	Data Batimetri	Digital Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional

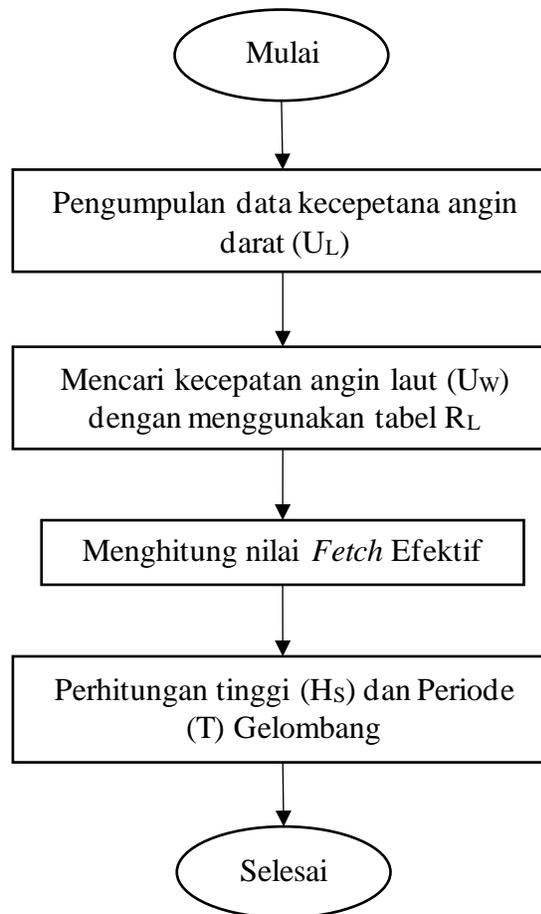
### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode pengolahan data dengan metode numerik *Delft3D* dan juga metode *wave Hindcasting* untuk mencari waktu dan juga periode gelombang. Adapun skema diagram penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian

### 3.4.1 Tahapan *Hindcasting*



Gambar 3. 3 Diagram alir *Hindcasting*

Berdasarkan Gambar 3.3 diatas, dapat dijabarkan proses pengolahan data angin untuk metode *Hindcasting* sebagai berikut :

- Pengolahan Data Angin Menggunakan WRPLOT

Data kecepatan dan arah angin di Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo dengan ketinggian 10 meter diatas permukaan tanah didapatkan dari *website* ECMWF. Data *Frequency Distribution*, *frequency count*, *Wind Rose dan Graph*, serta arah angin dominan. Dari data tersebut dapat diketahui persentase distribusi angin berdasarkan sudut arah datangnya angin dan kecepatan angin yang berhembus di pesisir Kalbut Kabupaten Situbondo.

- Konversi Data Angin

Hubungan antara angin di atas laut dan di atas daratan, dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.1

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \quad (3.1)$$

Keterangan:

UL = Kecepatan angin yang diukur di daratan (m/s)

UW =  $RL \times UL$  = Kecepatan angin di lautan (m/s)

RL = Tabel koreksi hubungan kecepatan angin di daratan dan lautan (1 knot = 0,515 m/s)

- Perhitungan Tegangan Angin

Rumus dan grafik pembangkitan gelombang mengandung variabel UA, variabel UA merupakan faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin di laut (UW). Dari kecepatan angin yang didapat, kecepatan angin dikonversi pada faktor tegangan angin dengan menggunakan Persamaan 3.2.

$$U_A = 0.71 \times (U_W)^{1.23} \quad (3.2)$$

Keterangan :

UA = Tegang angin (m/s)

- Perhitungan Panjang *Fetch* Efektif

*Fetch* efektif adalah area dalam radius perairan yang melingkupi titik lokasi dimana di dalam area tersebut angin bertiup dengan konstan dari arah manapun menuju titik tersebut (Mulyadi & Apriansyah, 2015). Perhitungan *fetch* efektif dilakukan dengan membuat arah angin dominan menjadi garis poros *fetch* untuk menentukan garis *fetch* kurang lebih  $42^\circ$  ke kanan dan ke kiri dengan interval  $6^\circ$  (Triatmodjo, 1999). Lalu panjang *fetch* efektif didapatkan menggunakan persamaan rumus berikut.

$$F = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3.3)$$

Keterangan :

F = *Fetch* efektif atau jarak efektif perairan yang dilewati angin (m)

Xi = Panjang *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

$\alpha$  = Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6 sampai sudut sebesar  $42^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin

- Perhitungan Periode dan Tinggi Gelombang

Berdasarkan pada data tegangan angin yang telah diperoleh, dapat diketahui tinggi gelombang ( $H_o$ ) dan periode gelombang ( $T_o$ ) pada suatu perairan dengan persamaan sebagai berikut (CERC, 1984).

Berikut ini merupakan tinggi gelombang ( $H_o$ ) pada laut dalam, dapat dilihat pada persamaan 3.4.

$$H_o = 5.112 \times 10^{-4} \times U_A \quad (3.4)$$

Berikut ini merupakan perhitungan periode gelombang ( $T_o$ ) pada laut dalam, dapat dilihat pada Persamaan 3.5.

$$T_o = 6.238 \times 10^{-2} \times U_A \times F^{0.33} \quad (3.5)$$

- Perhitungan Periode dan Tinggi Gelombang *Root Mean Square*

Perhitungan periode dan tinggi gelombang root mean square (rms) dapat dilakukan setelah memperoleh data tinggi gelombang ( $H_o$ ), periode gelombang ( $T_o$ ) dan data frekuensi arah angin dominan ( $n$ ). Berikut ini rumus yang digunakan untuk menghitung  $H_{rms}$ , dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{\sum n(H_o)^2}{\sum n}} \quad (3.6)$$

Keterangan :

$H_{rms}$  = Tinggi gelombang root mean square

- Perhitungan Tinggi Gelombang Signifikan

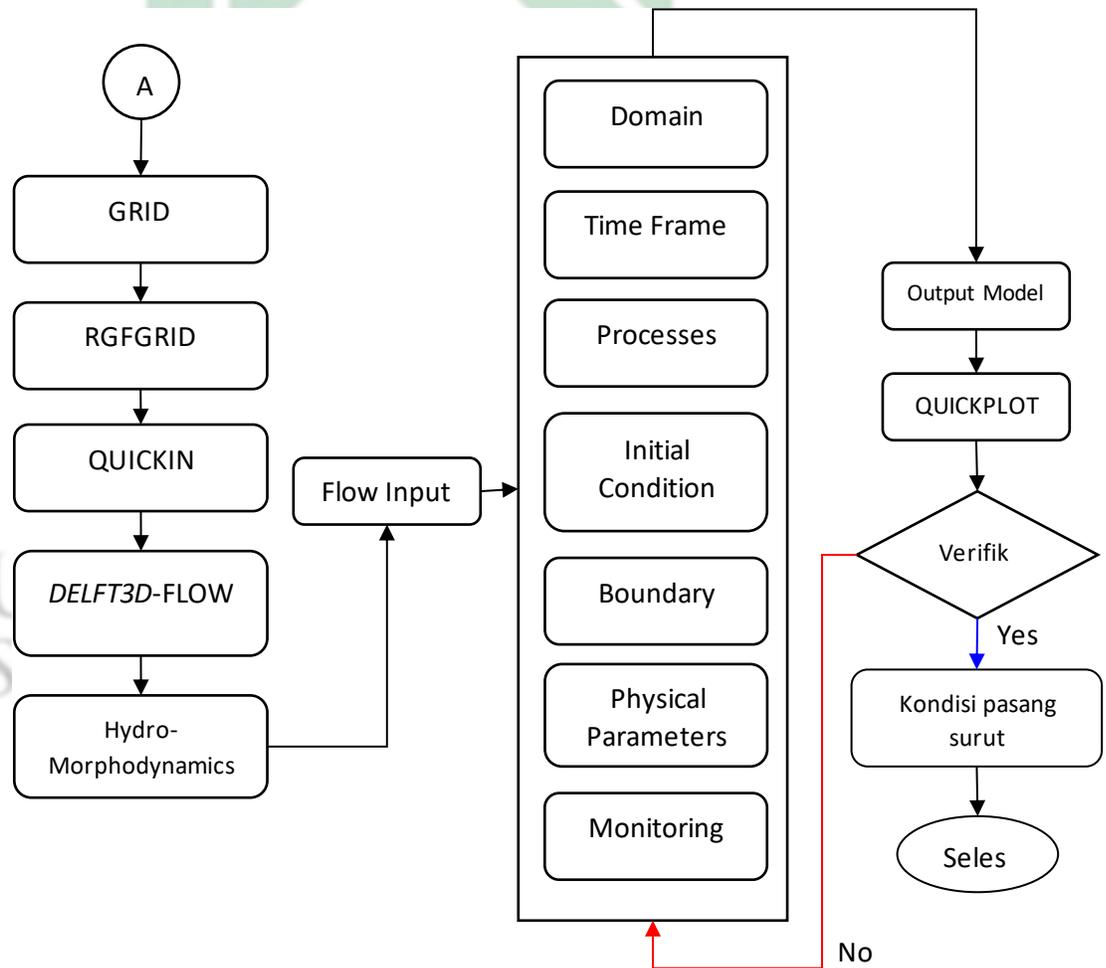
Tinggi gelombang signifikan dapat didefinisikan dengan Persamaan 3.7 berikut.

$$H_s = 1,42 \times H_{rms} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$H_s$  = Tinggi gelombang signifikan (m)

### 3.4.2 Tahapan Simulasi Model



Gambar 3. 4 Diagram Alir setting model

Berikut merupakan penjabaran dari diagram alir penelitian yang ada di atas.

a. Studi Literatur

Studi literatur dapat berupa jurnal, koran, konferensi resmi, dan publikasi media yang sangat akan membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Referensi mengenai pemodelan angkutan seedimen. Selain itu studi literatur dilakukan guna mempelajari proses pengolahan data dan pemodelan menggunakan perangkat lunak Delft 3D yang dapat dipelajari melalui modul yang ada pada perangkat lunak.

b. Pengumpulan Data

Data sekunder berupa data angin dan juga arus di dapatkan dari web *The European Centre For Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)*. Sedangkan data primer yakni data arus didapatkan berdasarkan survei lapangan selama 1 bulan yaitu pada bulan Maret 2022.

c. Pemodelan Data

Setelah diperoleh data data yang diperlukan maka langkah berikutnya yakni pemodelan, data-data tersebut dimodelkan menggunakan metode hidrodinamika numerik dengan perangkat lunak *Delft3D*. Adapun penjelasan dari Gambar 3.3 adalah sebagai berikut:

- Pembuatan grid dibangun menggunakan *Delft3D-RFGRID* dan menentukan tipe koordinat yang akan digunakan. Grid berfungsi sebagai pembatas area yang akan dikomputasikan.
- Meshing berfungsi untuk menggabungkan data batimetri dengan grid yang sudah dibangun serta menginterpolasikannya. Meshing dilakukan pada menu *Delft3D-QUICKIN*.
- Simulasi pemodelan dilakukan menggunakan data arus, angin, konstanta pasang surut dalam dua waktu yang berbeda yaitu musim barat dan musim timur.

d. Validasi Data Pasang Surut

Dilakukan validasi terhadap pemodelan yang telah dilakukan. Validasi dilakukan dengan menggunakan data sekunder dari Distrik Navigasi Kelas 1 Surabaya. Tujuan dari validasi yakni menentukan keakuratan hasil dari pemodelan. Metode validasi yang digunakan adalah rumus Root Mean Square Error (RMSE). Berikut formula RMSE menurut (Pardede, 2016)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{a=1}^x (y1 - y2)^2}{x}} \quad (3.8)$$

Keterangan :

x = Data ke – x

y1 = Data Pengamatan

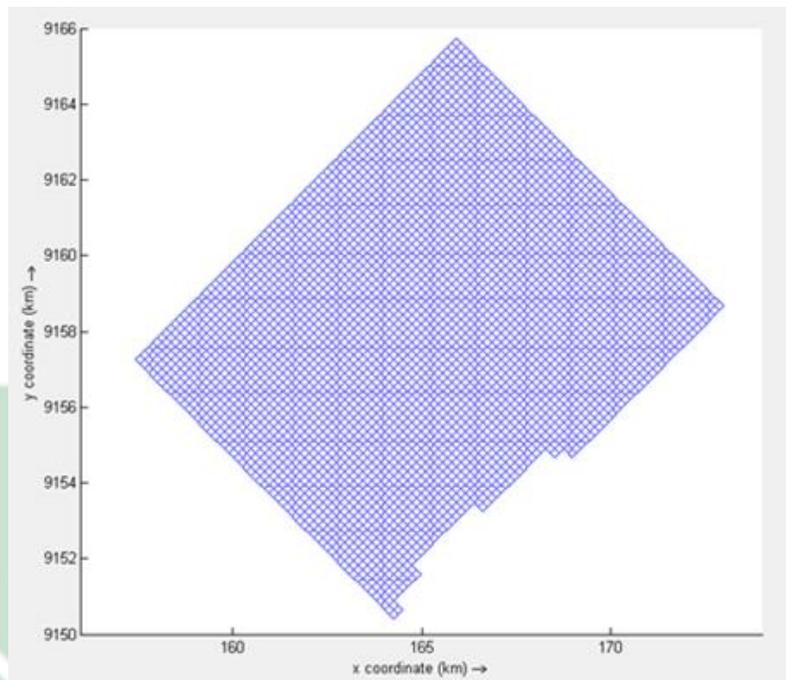
y2 = Data Prediksi

X = Jumlah Data

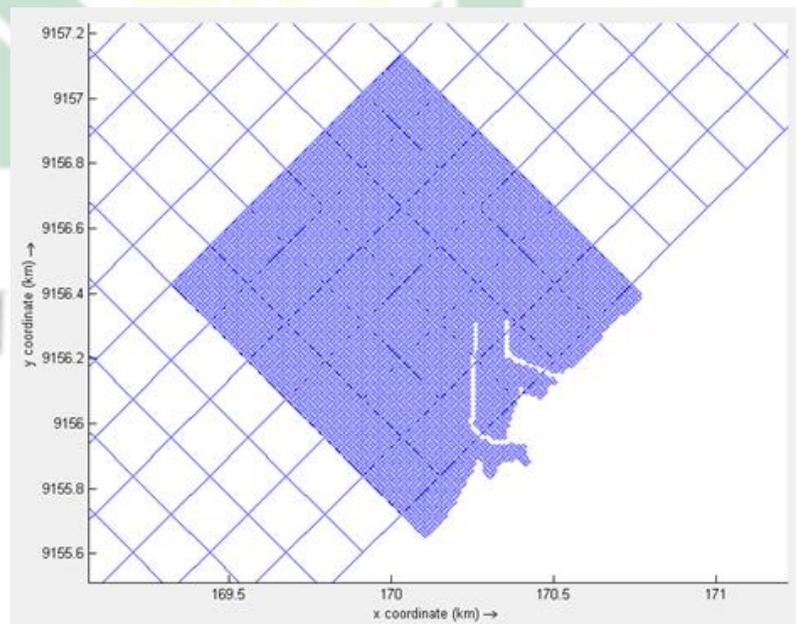
### 3.5. Desain Model

#### 3.5.1 Grid Pemodelan

Grid yang digunakan dalam penelitian ini merupakan ortogonal grid yang mengacu pada koordinat Cartesian. Sistem koordinat cartesian merupakan suatu sistem untuk menentukan posisi suatu titik atau benda / unsur geometri menggunakan satu atau dua atau bilangan dan memiliki sumbu yang tetap (Rohman, 2022). Pembuatan grid dilakukan dengan menyesuaikan daerah yang akan dimodelkan, dalam penelitian ini terdapat 2 grid yang berbeda ukuran. Grid dengan ukuran yang lebih besar yaitu 11.390 hektar dan grid yang memiliki ukuran lebih kecil yakni 110 hektar.



Gambar 3. 5 Grid besar



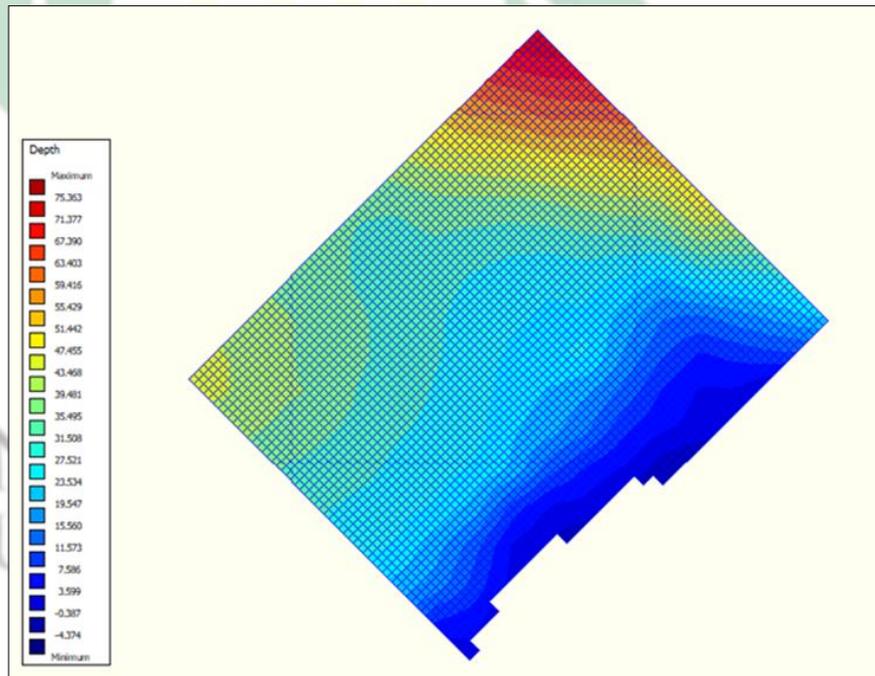
Gambar 3. 6 Grid kecil

Bentuk kedua grid yang digunakan merupakan ortogonal grid dengan grid kecil sebagai detail lokasi yang membutuhkan resolusi lebih besar sehingga ukuran grid diperkecil untuk mendapatkan kualitas hasil model yang lebih maksimal. Ukuran tiap cell pada grid kecil

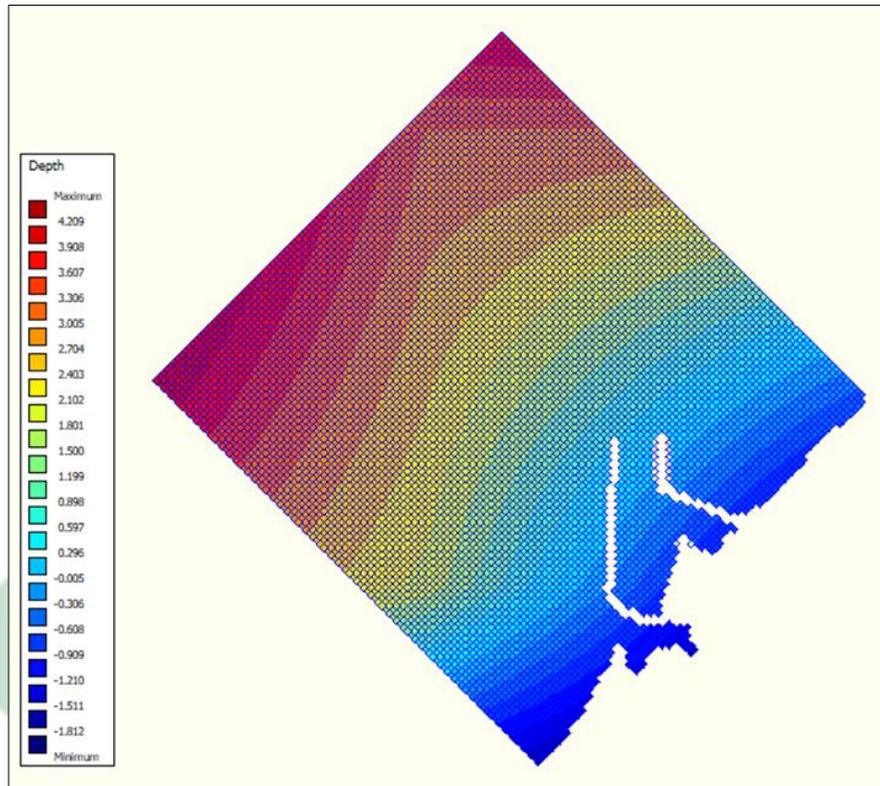
berukuran 10 x 10 meter yang bertujuan untuk memfokuskan pada area-area penting seperti break water dan juga dermaga sandar kapal di wilayah pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo.

### 3.5.2 Kondisi Batimetri

Dalam simulasi model dibutuhkan data kedalaman (Batimetri) guna menunjang proses simulasi pada program. Data kedalaman yang digunakan merupakan data yang didapatkan dari Badan Informasi Geospasial (BATNAS). Proses mengolah data dilakukan pada Software *Delft3D* menggunakan format .xyz dalam menu QUICKIN. Terdapat 2 model batimetri dalam penelitian ini yaitu pada model besar dan juga model kecil.



Gambar 3. 7 Batimetri grid besar



Gambar 3. 8 Batimetri grid kecil

Kondisi batimetri pada grid kecil merupakan cakupan kondisi batimetri pada model besar, sehingga tidak ada perbedaan kedalaman secara signifikan pada kedua grid. Data yang dimasukkan kedalam QUICKIN *Delft3D* merupakan data mentah titik-titik kedalaman di area model yang kemudian diinterpolasi. Dalam program *Delft3D*, data kedalaman dengan tanda (+) merupakan nilai kedalaman pada wilayah laut sedangkan data dengan tanda (-) merupakan nilai kedalaman yang ada pada wilayah daratan. Data hasil pengolahan kemudian disimpan dalam format depth (.dep).

### 3.5.3 Parameter Model

Parameter model dalam penelitian ini merupakan parameter-parameter yang digunakan untuk proses komputasi model yaitu parameter hidrodinamika.

Tabel 3. 3 Parameter pemodelan

<b>Komponen</b>	<b>Jenis Data</b>		
<i>Domain</i>	Grid		
	Batimetri		
<i>Time Frame</i>		Musim Barat	Musim Timur
	<b>Waktu mulai simulasi</b>	18 Feb 2022	1 Agustus 2022
	<b>Waktu berhenti simulasi</b>	18 Mar 2022	31 Agustus 2022
	<i>Time Step</i> : 0,1		
	<i>Local Time Zone (LTZ)</i> : 7 (+GMT)		
	<i>Processes</i>	<b>Physical</b> : Wind	
<i>Boundaries Condition</i>	Grid Besar (Astronomic)		
	Grid Kecil ( <i>Time-Series</i> )		
<i>Physical Parameters</i>	<b>Konstanta</b>		
	Gravitasi		
	Densitas Air		
	Densitas Udara		
	<b>Kekasaran</b>		
	Chezy		
	<b>Angin</b>		
	Angin Musim Barat		
	Angin Musim Timur		

Keluaran dari gabungan beberapa parameter yang dimasukkan seperti pada tabel 3.3 yaitu berupa hasil visualisasi model arus dan pasang surut yang sesuai dengan area model yang dibuat.

Tabel 3. 4 Parameter pemodelan gelombang

<b>Parameter Model</b>	<b>Jenis Data</b>
<i>Hydrodynamic</i>	<i>Run WAVE together with FLOW</i>
	File tipe (.mdf)
<i>Grids</i>	Grid Besar
	Grid Kecil
<i>Boundaries</i>	<i>Boundary orientation</i>
	<i>Significant Wave height</i>
	<i>Peak Period</i>
	<i>Direction (nautical)</i>
	<i>Directional spreading</i>

Keluaran dari beberapa parameter yang dimasukkan dalam modul WAVE seperti pada tabel 3.4 merupakan simulasi model gelombang meliputi arah, tinggi dan juga sebaran gelombang dengan luasan area sesuai grid model yang telah dibuat.

### 3.6. Input Model

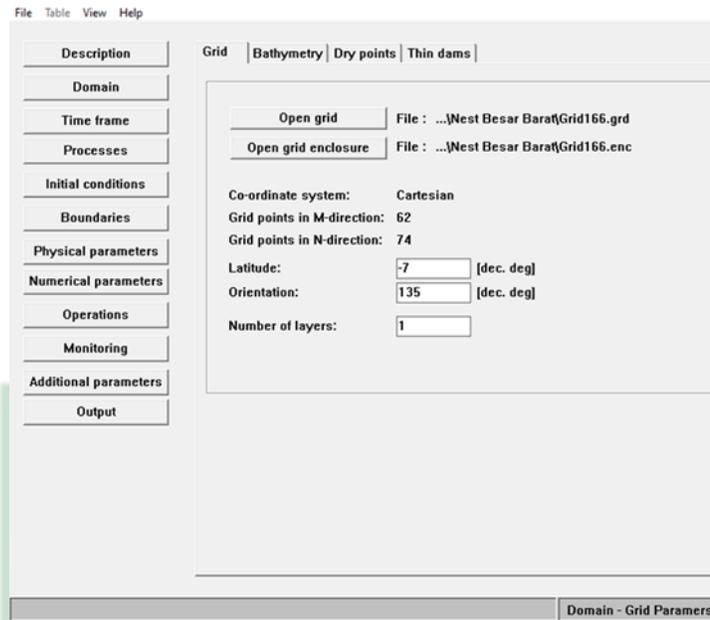
Dalam tahapan ini langkah yang dilakukan yaitu memasukkan data-data yang sudah diolah kedalam input konfigurasi FLOW dan juga WIVE models input, dimana dalam flow input terdiri dari fitur-fitur yang memprogram proses visualisasi setelah memasukkan data-data pemodelan Hydrodinamic seperti pada tabel 3.3 dan 3.4.

#### 3.6.1. Flow Model

Adapun penjelasan singkat dari setiap fitur Flow input antara lain sebagai berikut (FLOW,2020):

##### a. Domain

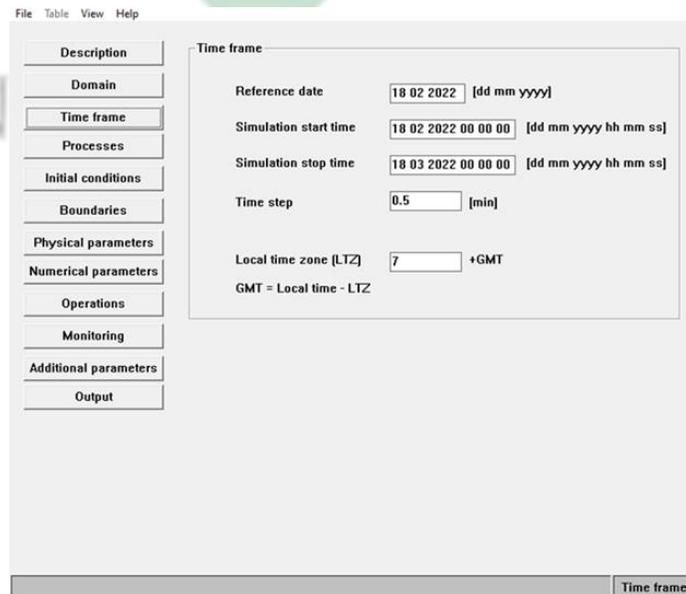
Pada menu domain terdapat 4 sub-data yang dapat diunggah antara lain Grid (.grd), Bathymetry (.dep), Dry points dan juga Thin dams untuk mendefinisikan sebuah bendungan atau break water yang menghalangi jalanya sebuah aliran.



Gambar 3. 9 Domain layer *Delft3D*

b. *Time Frame*

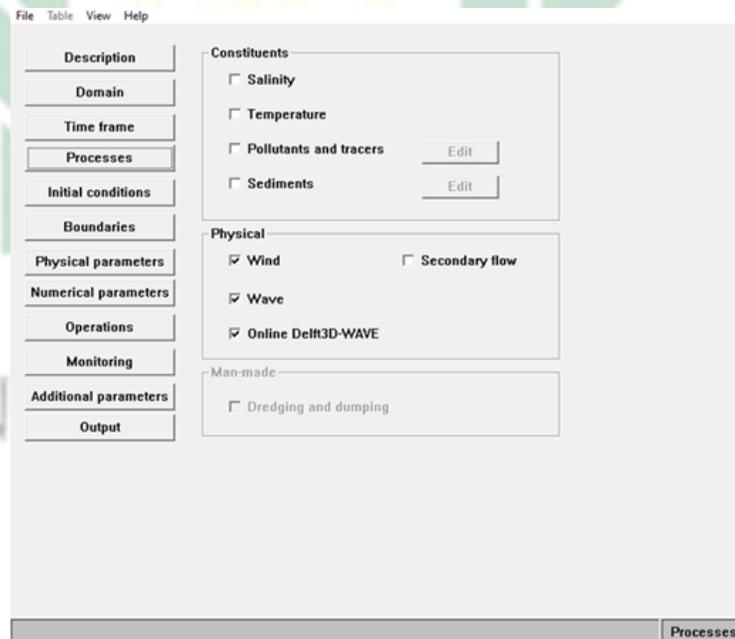
Pada menu ini waktu simulasi di atur sesuai yang dibutuhkan. Pemodelan hidridinamika ini dilakukan pada 2 musim yaitu bulan Februari – Maret yang mewakili musim barat dan bulan Agustus yang mewakili musim timur.



Gambar 3. 10 Time Frame layer *Delft3D*

### c. Processes

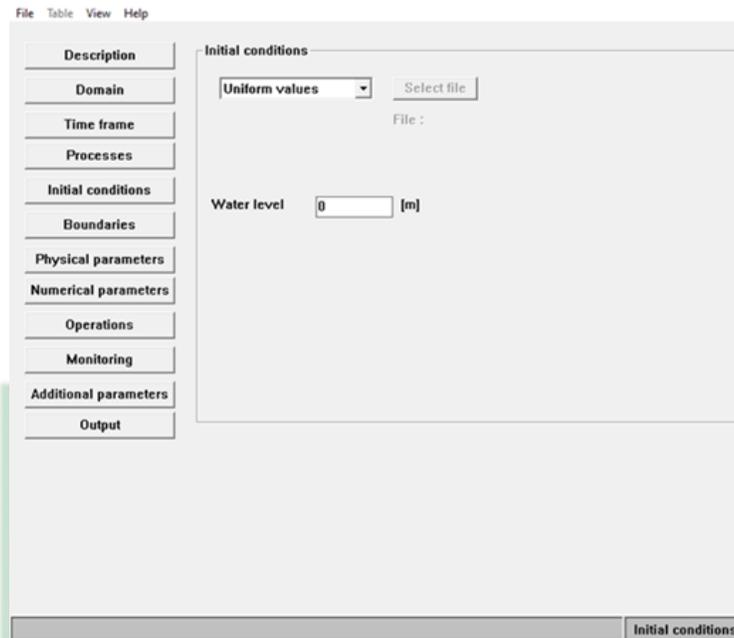
Dalam model hidrodinamika terdapat beberapa parameter fisik yang akan dimasukkan kedalam input model antara lain angin dan juga gelombang. Data angin yang digunakan merupakan data yang telah diklasifikasikan berdasarkan bulan (musim) berhembusnya angin tersebut. Penelitian ini juga memodelkan gelombang yang didapatkan berdasarkan perhitungan Hindcasting yang kemudian dimasukkan kedalam Wave input. Pada menu processes Online *Delft3D-WAVE* di pilih guna mensimulasikan hasil model bersamaan dengan model FLOW sehingga aspek-aspek fisik yang dimasukkan kedalam FLOW Input nantinya akan berpengaruh terhadap hasil simulasi model gelombang.



Gambar 3. 11 Processes layer *Delft3D*

### d. Initial Condition

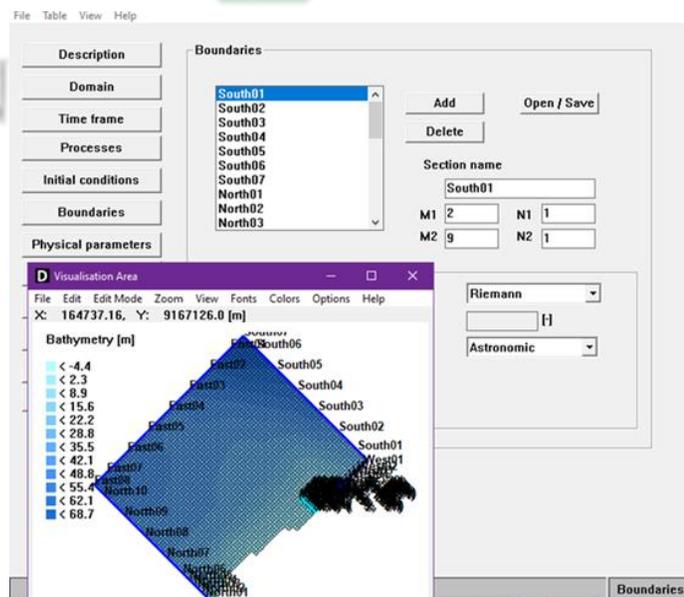
Input data initial condition berupa data ketinggian muka air dan konsentrasi sedimen, nilai 0 mengindikasikan bahwa ketinggian muka air dan konsentrasi sedimen memiliki keseimbangan di seluruh komputasional grid atau dapat disebut *threshold value*.



Gambar 3. 12 Initial condition layer *Delft3D*

e. *Boundaries*

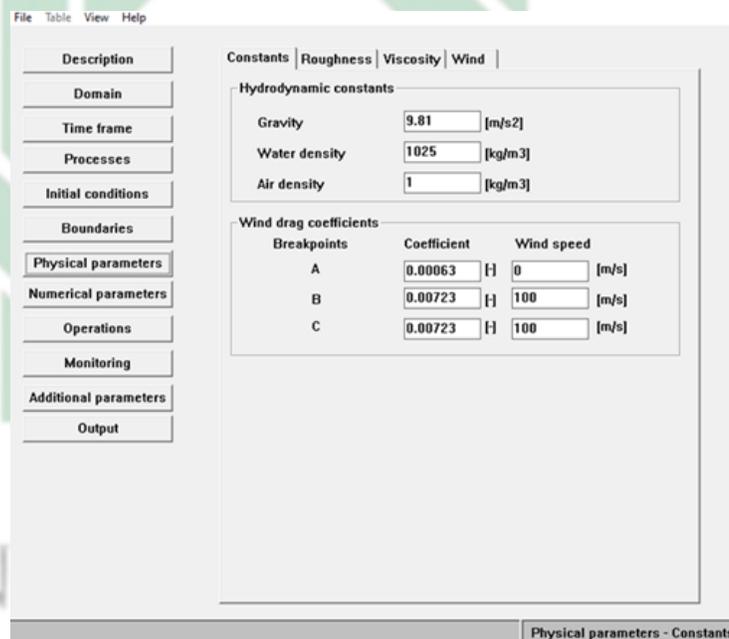
Kondisi batas model ditentukan dari aliran yang keluar masuk pada area penelitian. Pada pemodelan ini menggunakan Type of open boundaries Riemann dan Forcing type Astronomic dengan memasukkan nilai konstanta harmonik pasang surut.



Gambar 3. 13 Boundaries *Delft3D*

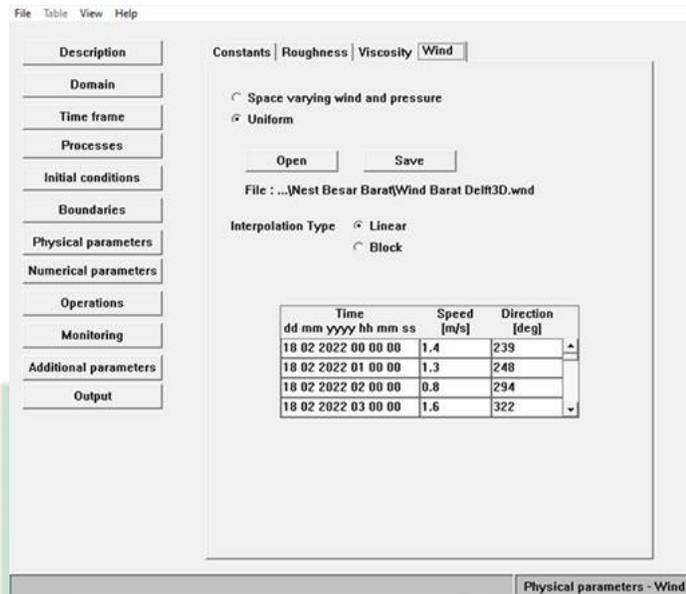
f. *Physical Parameters*

Pada fitur parameter fisik memungkinkan untuk memilih atau menentukan beberapa parameter yang terkait dengan keadaan fisik dalam suatu kasus pemodelan. Dalam fitur ini disajikan beberapa parameter fisik yang dapat diatur sesuai kondisi perairan pada lokasi penelitian antara lain kontanta, kekasaran, dan viskositas. Parameter lainnya merupakan parameter tambahan yang tersedia jika diaktifkan pada menu processes. Dalam penelitian ini mengaktifkan parameter angin sebagai input.



Gambar 3. 14 Physical Parameters *Delft3D*

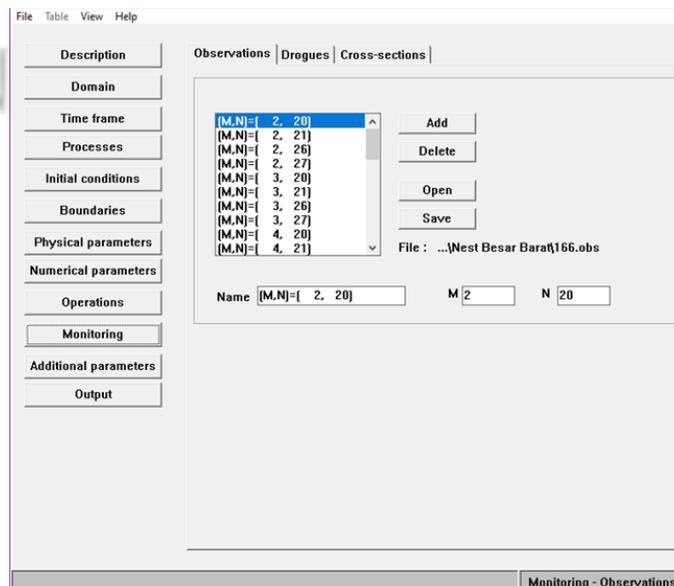
Angin yang dimasukkan kedalam input telah di klasifikasi berdasarkan bulan berhembus atau musim. Terdapat 2 musim yang disimulasikan yaitu Musim Barat yang terjadi pada bulan Oktober – Maret dan Musim Timur yang terjadi pada bulan April – September. Data angin yang telah diklasifikasikan kemudian diolah sesuai format yaitu kolom pertama berisikan waktu dengan interval 60 menit, kolom kedua berisikan kecepatan angin (m/s) dan kolom ketiga berisikan arah angin.



Gambar 3. 15 Wind Input *Delft3D*

g. *Monitoring*

Dalam menu monitoring terdapat 3 komponen antara lain Observations, drogues, dan Cross-section. Ketiga komponen tersebut merupakan titik pengamatan secara spesifik yang akan diidentifikasi. Titik pengamatan biasanya memiliki karakteristik wilayah tertentu atau kondisi tertentu yang menarik untuk dikaji.



Gambar 3. 16 Monitoring Layer *Delft3D*

### 3.6.2. Wave Model

#### a. Hydrodynamic

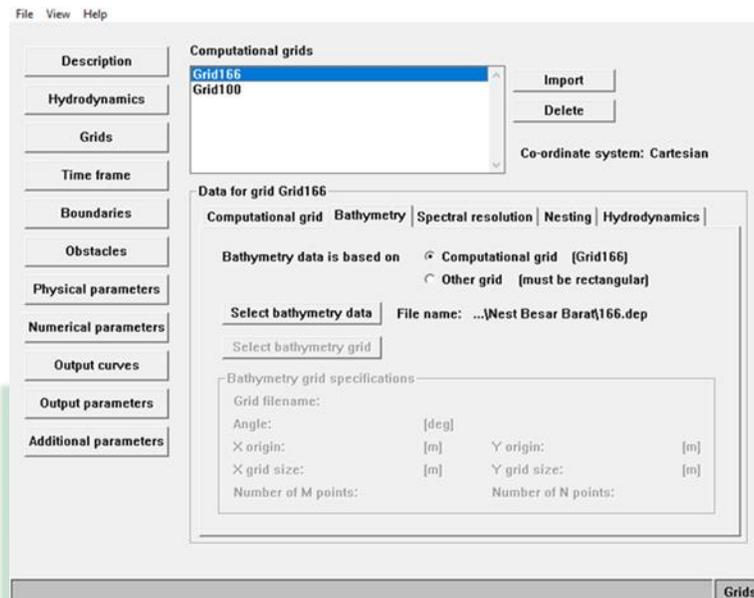
Pada fitur Hydrodynamic proses komputasi dilakukan secara bersamaan dengan FLOW sehingga perlu memasukkan module FLOW (.mdf) yang telah diatur sehingga sistem akan membaca kondisi angin, arus dan juga pasang surut berdasarkan modul yang telah di input.



Gambar 3. 17 Hydrodynamic Layer *Delft3D*

#### b. Grids

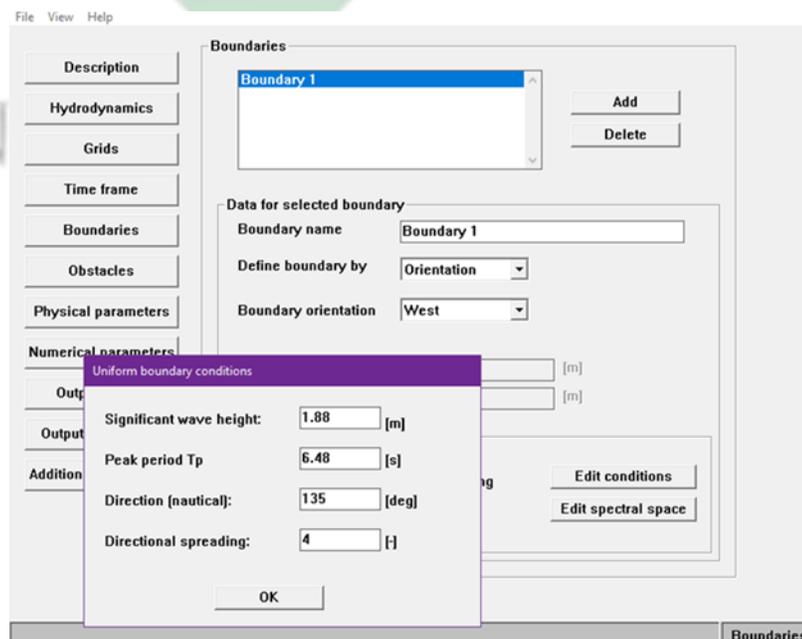
Dalam proses komputasi model gelombang ini digunakan metode nesting sehingga perlu memasukkan kedua Grid dalam fitur grid. Tidak hanya itu, kondisi kedalam pada setiap wilayah juga perlu dimasukkan kedalam area. Dalam Tab Nesting pilih grid yang akan digunakan sebagai batas kondisi.



Gambar 3. 18 Grids Input *Delft3D*

c. *Boundaries*

Dalam fitur Boundaries, nilai yang telah dihitung dengan menggunakan metode Hindcasting dimasukkan. Adapun nilai-nilai tersebut antara lain Tinggi gelombang signifikan, Periode, Arah, dan juga penyebaran arah.



Gambar 3. 19 Boundary Input *Delft3D*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kondisi Pasang Surut

Pada penelitian ini didapatkan data pasang surut hasil pemodelan selama 1 bulan pada tahun 2022. Data pasang surut hasil pemodelan ini selanjutnya akan di verifikasi dengan menggunakan data hasil pengukuran langsung pada lokasi penelitian. Berdasarkan data hasil pemodelan didapatkan nilai 9 konstanta harmonik utama untuk amplitudo (A) dan beda fase ( $g^\circ$ ) dengan menggunakan Metode Admiralty, sebagaimana disajikan pada tabel dibawah.

Tabel 4. 1 Konstanta Harmonik Pasang Surut Perairan Pelabuhan Kalbut

CONSTANTS	S0	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A (Cm)	148	38	21	6	48	27	0	0	7	19
g (°)	0	197	329	194	112	328	273	170	329	112

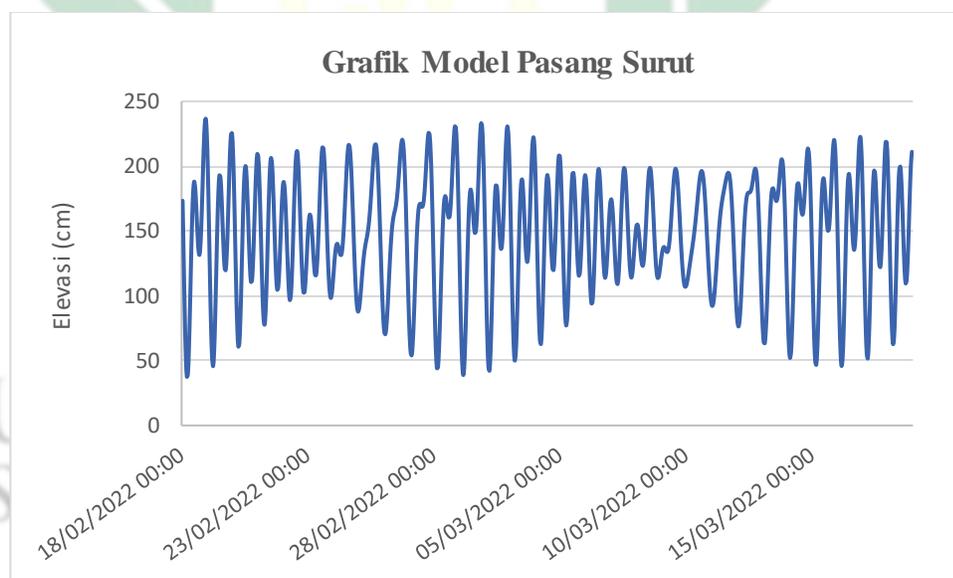
Hasil konstanta tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk meramalkan kondisi pasang surut di wilayah studi kedepannya. Pengamatan pasang surut dilakukan selama satu bulan yaitu pada tanggal 18 Februari 2022 sampai 18 Maret 2022. Berdasarkan nilai konstanta harmonik pasang surut, diperoleh nilai MSL sebesar 148 cm dan bilangan *Fromzahl* (F) sebesar 1,27 sebagaimana disajikan pada tabel dibawah. Berdasarkan kriteria courtier range nilai tersebut termasuk dalam tipe pasut campuran condong keharian ganda (mixed tide predominant semi diurnal).

Tabel 4. 2 Karakteristik Pasang Surut dan Nilai Bilangan Fromzal

Unsur	Formula	Hasil (cm)
MSL	S0	148
HHWL	$S0+(M2+S2+K1+O1+K2+P1)$	309
LLWL	$S0-(M2+S2+N2+K1+O1+M4+MS4+K2+P1)$	-13
Z0	$M2+S2+N2+K1+O1+M4+MS4+K2+P1$	150
MHWL	$Z0+(K1+O1)+(M2+S2)$	262
MLWL	$Z0-(M2+S2)$	34

Unsur	Formula	Hasil (cm)
F	$(K1+O1)/(M2+S2)$	1,27

Dapat dilihat pada Gambar dibawah menunjukkan dalam satu hari pengamatan terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, dengan tinggi dan periodenya berbeda. Tipe pasang surut campuran condong harian ganda pada perairan situbondo ini diperkuat dengan adanya penelitian (Aris, 2017) yang menjelaskan bahwasanya untuk Perairan Pasuruan, Probolinggo, Situbondo dan sekitarnya memiliki tipe pasang surut yang tetap dari tahun ke tahun yakni bertipe campuran condong harian ganda namun dengan nilai bilangan Formzahl yang berubah dari tahun ke tahun. Penelitian (Fuad, et al. 2021) menjelaskan bahwasanya tipe pasang surut di wilayah perairan Situbondo memiliki tipe campuran condong harian ganda, dengan nilai *fromzahl* sebesar 0,99.



Gambar 4. 1 Grafik Hasil Model Pasang Surut Perairan Kalbut

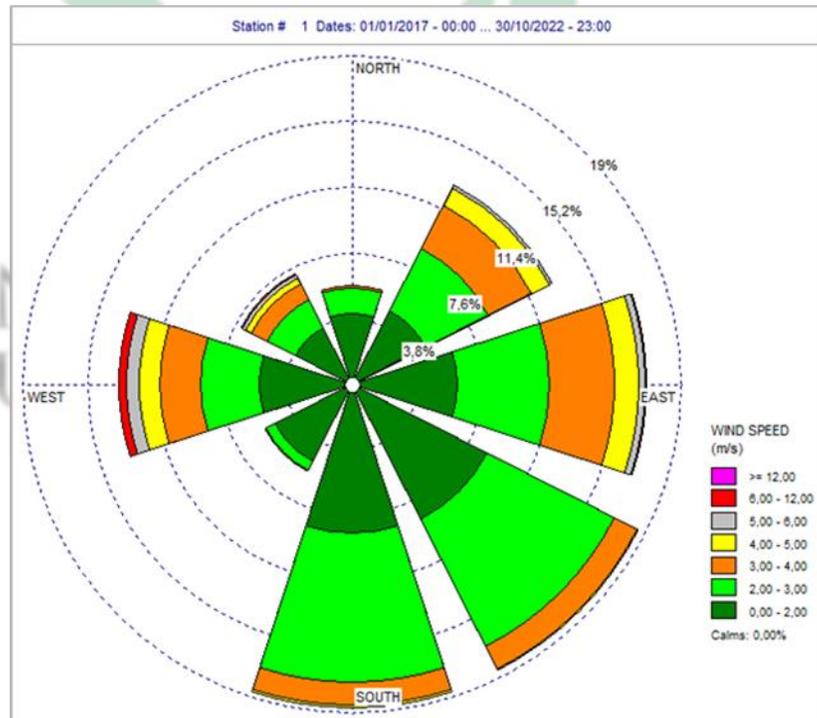
## 4.2 Angin

Data angin merupakan salah satu aspek oseanografi digunakan dalam pembangkitan gelombang. Dalam pengolahan data angin digunakan WRPlot sebagai sarana bantu dalam menginterpretasikan arah dan kecepatan angin dalam bentuk diagram mawar 2 dimensi. Pencatatan data angin di dapatkan dari European Centre for medium-Range Weather Forecast (ECMWF) dalam

rentang waktu 6 tahun terakhir sejak tahun 2017-2022. Adapun presentase distribusi data dan mawar angin sejak tahun 2017-2022 sebagai berikut.

#### 4.2.1. Distribusi Angin 2017-2019

Data angin yang dianalisis adalah data angin darat (UL) berdasarkan pengukuran 10 m diatas permukaan laut yang kemudian diolah untuk mendapatkan data kecepatan angin diatas permukaan laut (UW). Data kecepatan dan juga arah angin harian dengan selang waktu data selama 6 tahun (2017-2022). Besarnya kecepatan angin dan arah kemudian ditabelkan dan dipresentasikan dalam grafik mawar angin (windrose). Pada hasil tinjauan grafik windrose akan ditampilkan kecenderungan dari arah pergerakan angin, persentase frekuensi kejadian dan kelas kecepatan angin (m/s). Penyebaran kelopak mawar angin pada poros lingkaran dengan variasi warna berbeda-beda menandakan perbedaan kecepatan dan arah angin dengan sederhana.

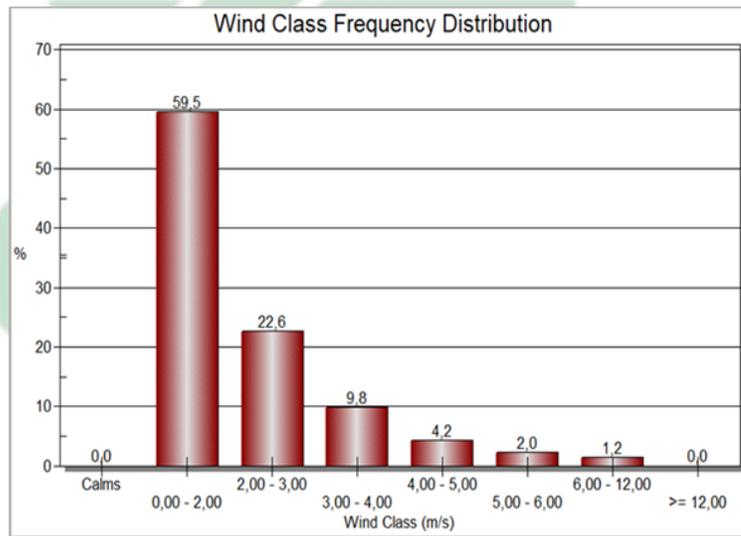


Gambar 4. 2 Mawar Angin 2017-2022

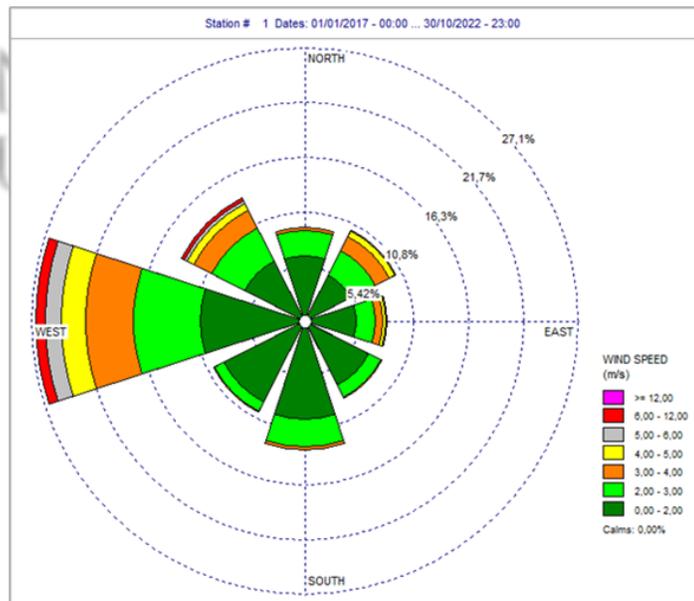
Berdasarkan gambar diatas bahwa presentase distribusi data angin yang mendominasi pada tahun 2017-2022 pada wilayah perairan

Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo terbesar berhembus dari arah tenggara yaitu dengan presentase total sebesar 18,60 %, sedangkan presentasi distribusi angin pada wilayah Pelabuhan Kalbut terkecil dari arah Barat Laut sebesar 5,65 %. Kemudian kecepatan angin berhembus yang mendominasi berkisar antara 0 – 2 m/s dengan arah datang angin dari sisi Tenggara.

#### 4.2.2. Distribusi Angin pada Muisim Barat



Gambar 4. 3 Distribusi Angin pada Musim Barat



Gambar 4. 4 Mawar Angin pada Musim Barat

Distribusi data angin pada musim barat berdasarkan diagram mawar angin diatas diketahui bawah arah angin dominan berhembus dari arah Barat dengan persentase sebesar 26,55 % dengan kecepatan angin dominan berkisar antara 2-3 m/s sebesar 59,48 % dan arah Barat merupakan arah dominan berhembusnya angin dengan kecepatan 0-2 m/s. Persentase distribusi angin terkecil diketahui dari arah Tenggara dengan nilai 8,59 % dengan kecepatan angin dominan 0-2 m/s dengan nilai persentase sebesar 7,06 %.

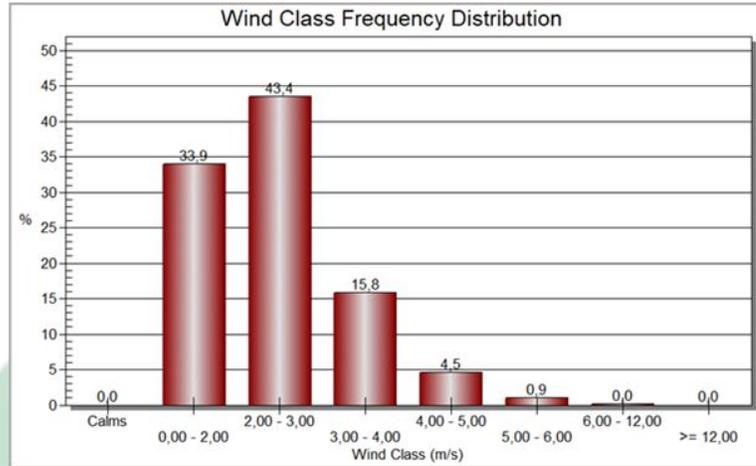
Berdasarkan diagram mawar angin pada gambar diatas, arah Barat Laut juga merupakan salah satu arah datangnya angin terbesar setelah arah barat dengan nilai persentase distribusi sebesar 13,68 %. Kecepatan angin dominan yang berhembus dari arah Barat Laut berkisar antara 0-2 m/s dengan nilai persentase 6,66 %.

Perairan Selatan Jawa merupakan perairan yang dipengaruhi oleh sistem angin muson. Sistem angin Muson berpengaruh terhadap fluktuasi karakteristik perairan seperti angin, arus, serta sebaran suhu. McPhaden dan Hayes (1991) dalam (Fadika, Rifai, & Rochaddi, 2014) menyatakan bahwa pergerakan angin akan mempengaruhi karakteristik massa air di laut, salah satunya adalah terjadinya perubahan arah arus permukaan. Pergerakan angin yang kencang juga dapat mempengaruhi terjadinya pencampuran massa air pada lapisan atas yang mengakibatkan sebaran suhu menjadi homogen.

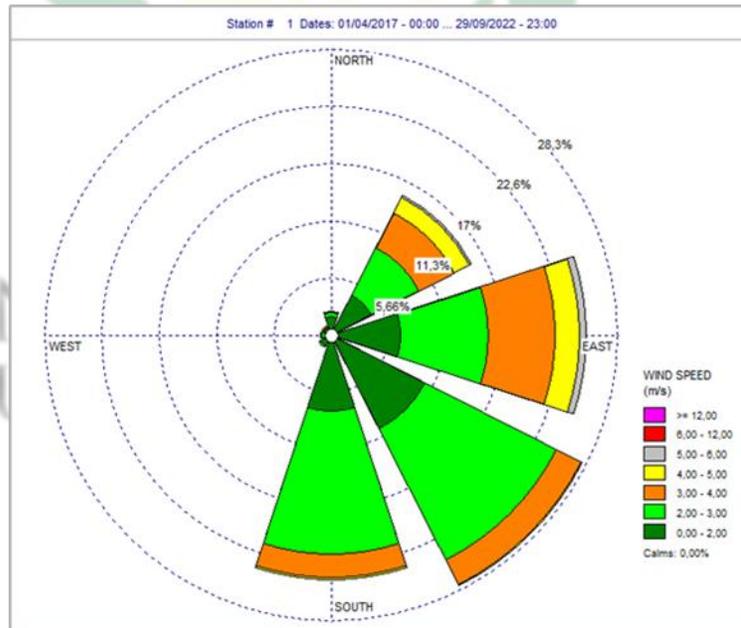
#### **4.2.3. Distribusi Angin pada Musim Timur**

Dilihat dari gambar diagram mawar dibawah, persentase kejadian arah dan kecepatan angin pada musim timur cenderung datang dari arah tenggara. Angin yang datang dari arah tenggara memiliki persentase terbesar dengan nilai 27,74 % dengan kecepatan dominan berkisar 2-3 m/s dengan nilai persentase 14,53 %. Persentase kejadian arah dan kecepatan angin dari arah timur dan selatan dalam periode waktu ini juga cukup besar dengan nilai persentase kejadian 25,13 %

dan 24,14 %. Nilai kecepatan angin yang datang dari arah timur berkisar 2-3 m/s dengan persentase kejadian sebesar 8,54% sama halnya dengan angin yang datang dari arah selatan yan memiliki kecepatan dominan berkisar 2-3 m/s dengan persentase kejadian sebesar 14, 01 %.



Gambar 4.5 Distribusi Angin pada Musim Timur



Gambar 4.6 Mawar Angin pada Musim Timur

Berdasarkan penelitian Putra (2004) dalam (Fadika, Rifai, & Rochaddi, 2014) diketahui bahwa pada saat Musim Timur, di selatan pulau Jawa angin bertiup dari benua Australia menuju ke Barat. Hal ini

menyebabkan pergerakan massa air permukaan dari Selatan pulau Jawa menuju bagian Barat samudera Hindia. Pergerakan massa air permukaan menyebabkan naiknya massa air dari bagian dalam yang bersuhu rendah, menggantikan massa air permukaan yang berpindah.

#### 4.2.4. Jarak Seret Angin (*Fetch*)

*Fetch* merupakan salah satu variabel yang berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. Menurut Triatmodjo (1999), semakin panjang jarak *fetch*-nya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar dan periode gelombangnya akan semakin lama. Pada daerah tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan pulau yang mengelilingi laut. Dalam pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama terhadap arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Santoso, Putra, & Dharma, 2019).

Tabel 4. 3 Perhitungan *Fetch* Efektif

Arah	$\alpha$ (°)	$\cos \alpha$	$X_i$ (km)	$X_i \cos \alpha$	$F_{\text{eff}}$ (km)
	42	0.74	877.00	651.74	
	36	0.81	62.00	50.16	
	30	0.87	61.70	53.43	
	24	0.91	475.00	433.93	
	18	0.95	430.00	408.95	
	12	0.98	232.00	226.93	
	6	0.99	70.70	70.31	
	0	1.00	57.50	57.50	
Utara	6	0.99	59.20	58.88	<b>171.66</b>
	12	0.98	47.70	46.66	
	18	0.95	57.10	54.31	
	24	0.91	60.50	55.27	
	30	0.87	50.40	43.65	
	36	0.81	68.00	55.01	
	42	0.74	70.70	52.54	
	$\Sigma$	<b>13.51</b>		<b>2319.27</b>	
	42	0.74	67.40	50.09	
Barat	36	0.81	75.80	61.32	74.52
	30	0.87	89.90	77.86	

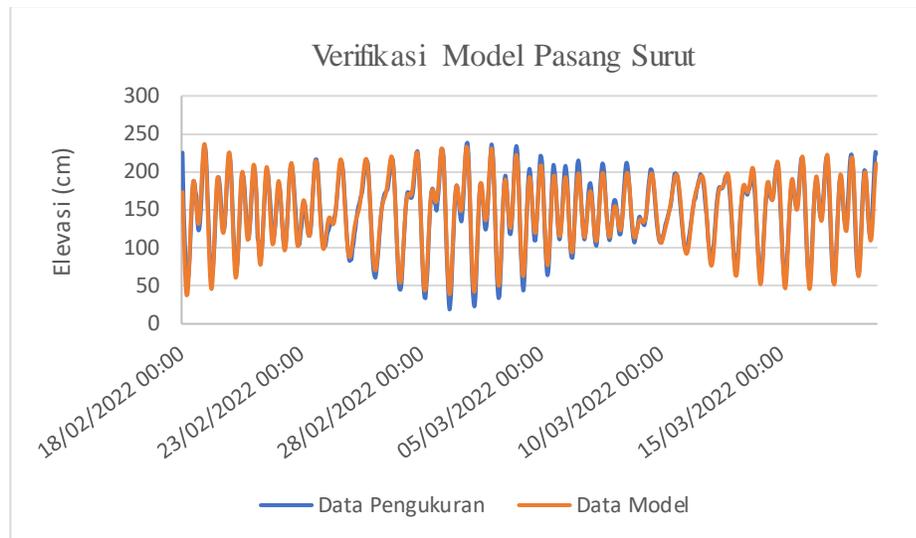
Arah	$\alpha$ (°)	$\cos \alpha$	$X_i$ (km)	$X_i \cos \alpha$	$F_{\text{eff}}$ (km)
24	0.91	108.00	98.66		
18	0.95	141.00	134.10		
12	0.98	132.00	129.12		
6	0.99	131.00	130.28		
0	1.00	116.00	116.00		
6	0.99	99.40	98.86		
12	0.98	47.70	46.66		
18	0.95	33.50	31.86		
24	0.91	16.80	15.35		
30	0.87	15.40	13.34		
36	0.81	2.23	1.80		
42	0.74	2.00	1.49		
$\Sigma$	<b>13.51</b>		<b>1006.78</b>		

Data yang diperlukan oleh jarak seret angin (*Fetch* =  $F_{\text{eff}}$ ) diperoleh dari hasil pengukuran jarak jari-jari *fetch* di dalam peta. Dari hasil perhitungan pada tabel diatas, yang mempunyai arah mata angin dominan adalah peta garis *fetch* arah Utara dan Barat. Setelah ditentukan arah mata angin dominan, maka dapat dihitung panjang jari-jari dari titik peramalan sampai titik dimana jari-jari tersebut memotong daratan untuk pertama kalinya ( $X_i$ ) serta dihitung pula cosinus sudut jari-jari terhadap sumbu ( $\cos \alpha$ ). Pada panjang *fetch* dititik pengamatan yang langsung berhadapan ke laut lepas (tidak ada rintangan terhadap angin) ditetapkan sampai sejauh 200 km (Santoso, Putra, & Dharma, 2019).

#### 4.3 Verifikasi Hasil Model

Verifikasi hasil model dilakukan dengan membandingkan data hasil model dengan data lapangan. Hasil model yang diverifikasi adalah elevasi pasang surut, data lapang elevasi pasang surut Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo diperoleh dari Distrik Navigasi Kelas I Surabaya melalui pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur pasang surut tide gauge pada koordinat  $114^{\circ} 0'47.20''\text{E}$  dan  $7^{\circ}37'27.76''\text{S}$  selama 29 piantan. Hasil

data lapang kemudian dibandingkan dengan data hasil model menggunakan persamaan Root Mean Square Error (RMSE).



Gambar 4. 7 Grafik Verifikasi Data Pasang Surut

Verifikasi elevasi pasang surut muka air laut hasil simulasi model dengan data lapang hasil pengukuran secara umum menunjukkan pola yang sama, seperti yang disajikan pada gambar diatas. Hasil perbandingan elevasi pasang surut muka air laut simulasi model dengan data hasil pengukuran dengan menggunakan metode RMSE memberikan hasil 0,1 yang menandakan hasil model telah mendekati kondisi nyata sehingga model dapat digunakan sebagai acuan.

Secara umum elevasi pasang surut muka air laut hasil model sudah merepresentasikan keadaan elevasi di kawasan perairan Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo, sehingga model dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi perairan di Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo. Menurut (Ryanto, Wiyono, & Hidayah, 2022) menjelaskan perlu adanya verifikasi kesesuaian data elevasi permukaan laut untuk mengetahui kesesuaian data yang ada.

#### 4.4 Peramalan Gelombang

Hasil Perhitungan Peramalan Gelombang dihitung dengan menggunakan Metode SPM (1984) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang berdasarkan data

angin dan medan pembangkit gelombang. Penjabaran metode ini sendiri secara detail disajikan dalam buku Shore Protection Manual 1984 Volume 1-1 Chapter 3 wave and water level Prediction.

Pada metode ini Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan Periode Gelombang ( $T$ ) merupakan fungsi dari kecepatan angin ( $U_A$ ), durasi angin dan panjang *Fetch*. Hasil perhitungan Tinggi gelombang signifikan dan juga Periode gelombang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_s$ ) dan Peiode Gelombang Laut dalam rata-rata ( $T$ )

	Musim Barat	Musim Timur
Tinggi Gelombang Signifikan (m)	1.88	1.11
Periode Gelombang Rerata (s)	6.48	4.92

Dari hasil perhitungan Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan Periode Gelombang Laut dalam rata-rata ( $T_{avg}$ ) didapatkan hasil nilai  $H_s$  pada musim Barat lebih besar dengan nilai 1,88 m dibandingkan dengan musim timur dengan nilai 1,11 m, begitu juga dengan periode gelombang dengan nilai periode gelombang pada musim barat sebesar 6,48 detik dan pada musim timur 4,92 detik. Perbedaan tinggi dan periode gelombang pada musim tersebut diakibatkan kecepatan angin pada musim barat lebih tinggi dibandingkan dengan musim timur. Dalam (Anggraini, 2019) kekuatan angin sangat berpengaruh atas perbedaan tinggi gelombang dikarenakan angin merupakan faktor pembangkit gelombang.

#### 4.5 Simulasi Gelombang dengan *software Delft3D*

Simulasi model gelombang dilakukan selama 1 bulan berdasarkan dengan menggunakan 2 skenario pembanding dengan pendekatan musim. Hasil model gelombang pada musim barat disajikan pada Gambar 4.19 sedangkan hasil model musim timur disajikan pada Gambar 4.21 berikut. Pemodelan penjalaran gelombang dilakukan dengan menggunakan *software Delft3D-WAVE* yang menampilkan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan arah

penjalaran gelombang. Tinggi gelombang signifikan ditampilkan dalam bentuk gradasi warna.

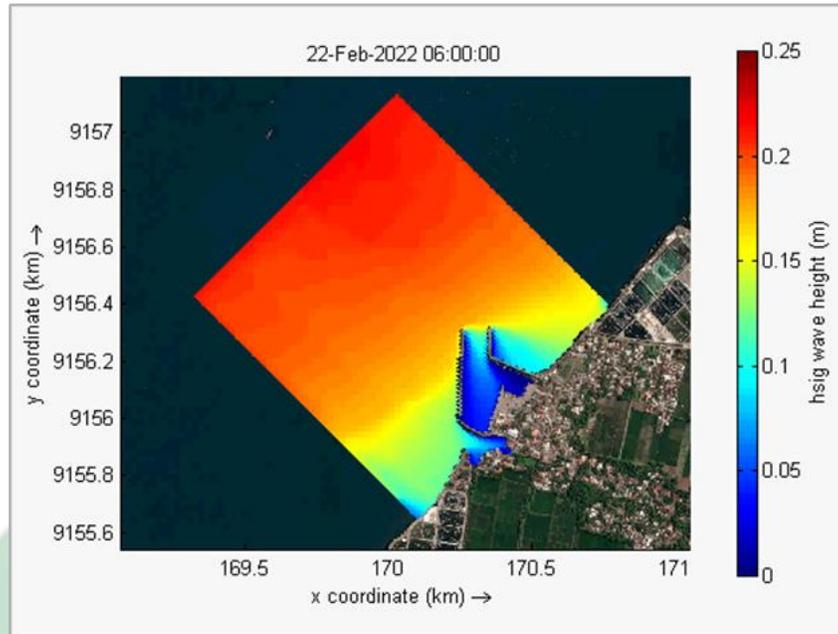
Simulasi gelombang dijalankan dengan menggunakan metode *coupling wave* model dengan flow model. Model coupling merupakan salah satu metode numerik yang memindahkan kondisi suatu model menjadi input dalam model lain (Ardiyanto, Ismanto, Widada, & Sampurno, 2022). Metode ini dilakukan dengan membuat terlebih dahulu modul flow (.mdf) dan modul wave (.mdw) yang kemudian kedua modul tersebut dijalankan secara bersamaan. Model coupling ini dilakukan untuk mendapatkan hasil simulasi gelombang dengan memperhitungkan variasi parameter oseanografi seperti arus dan juga pasang surut.

Dalam pembuatan model *wave* (.mdw) pada saat menggunakan metode coupling, data angin dan konstanta pasang surut tidak perlu dimasukkan. Hal tersebut dilakukan karena nilai parameter tersebut akan otomatis masuk berdasarkan nilai yang telah kita input pada modul flow (.mdf).

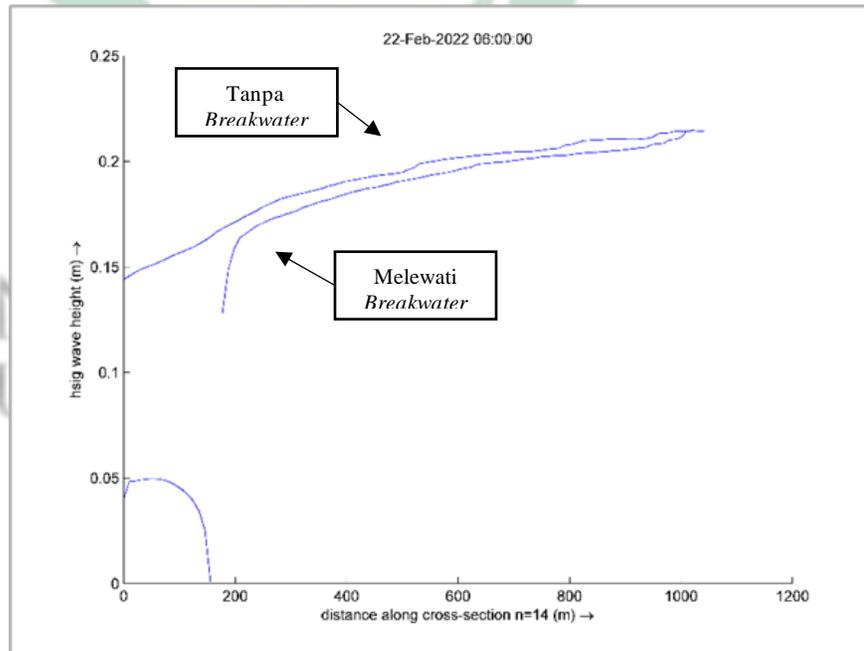
#### **4.5.1. Gelombang pada Musim Barat**

Hasil simulasi gelombang pada Musim Barat dilakukan selama 1 bulan yaitu pada 18 Februari – 18 Maret. Dalam simulasi ini juga mengukur seberapa besar ombak yang tertahan pada pemecah gelombang sehingga daerah pelabuhan dapat terlindungi oleh pemecah gelombang. Hasil disajikan pada Gambar 4.8 dan 4.9 berikut.

Hasil model pada Gambar 4.8 menunjukkan tinggi gelombang pada musim Barat berkisar antara 0 – 0,23 m dengan arah datang gelombang dari Barat – Barat Laut. terlihat tinggi gelombang yang datang dari arah Barat Laut telah tereduksi oleh Breakwater sehingga area dalam Breakwater memiliki ketinggian gelombang yang berbeda. Dijelaskan pada penelitian (Rohman, Salim, & Irawati, 2021) yang mengatakan Tinggi Gelombang Signifikan di perairan situbondo sebesar 0,3 meter. Semakin dekat gelombang dengan garis pantai maka akan semakin kecil nilai tinggi gelombang tersebut.



Gambar 4. 8 Model Gelombang Periode Angin Barat



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Gelombang Tanpa Adanya *Breakwater* dan Saat Adanya *Breakwater* Pada Musim Barat

Gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan tinggi gelombang saat tidak melewati *breakwater* dan saat melewati *Break water*. Dalam

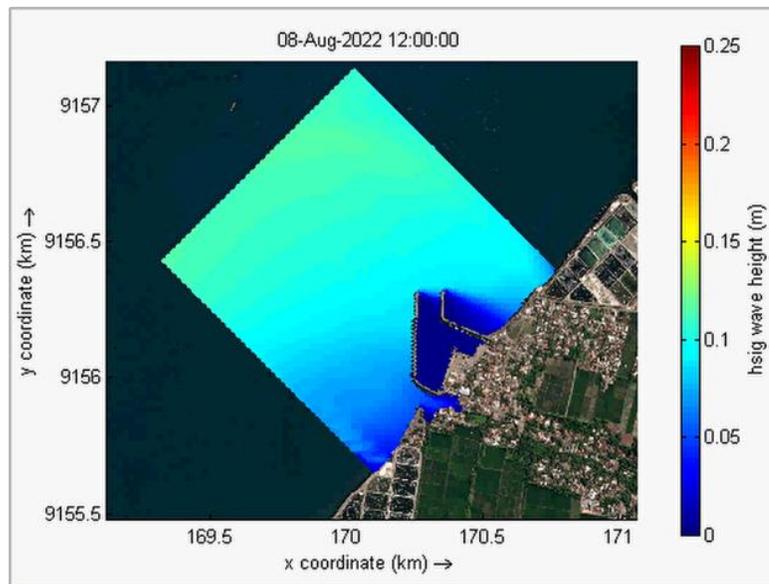
simulasi model *Cross-section* ditarik tegak lurus drngan garis pantai, dimana garis pertama ditarik melewati area pemecah gelombang sedangkan garis kedua ditarik di sebelah Timur Laut area pemecah gelombang sehingga terlihat perbedaan pada kedua Grafik tersebut. Dalam grafik terlihat tinggi gelombang mencapai 0,23 m.

Grafik gelombang yang melewati area *breakwater* memunculkan perbedaan dimana terdapat jarak kosong akibat adanya pengaruh pemecah gelombang. Sehingga terdapat perbedaan tinggi gelombang antara wilayah tyang terlindungi oleh pemecah gelombang dan diluar pemecah gelombang. Besaran nilai gelombang yang tereduksi sebesar 0,08 m. Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok disekitar ujung rintangan tersebut dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Teori tersebut merupakan teori disfraksi (Triadmodjo, 1999).

#### **4.5.2. Gelombang pada Musim Timur**

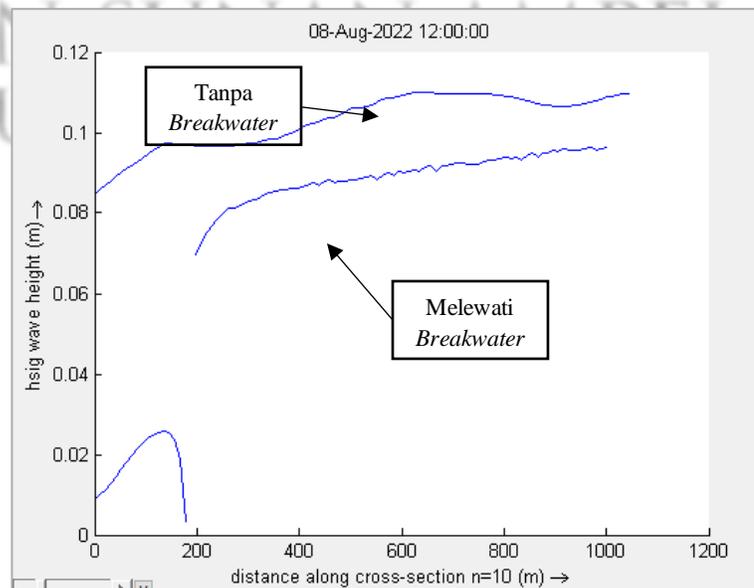
Simulasi model gelombang pada Musim Timur dilakukan selama 1 bulan pada tanggal 1 Agustus – 31 Agustus 2022. Hasil model disajikan pada gambar 4.10 berikut.

Pada gambar 4.10 menunjukkan hasil simulasi pemodelan gelombang pada Musim Timur, tinggi gelombang pada Musim Timur berkisar antara 0,05 – 0,1 m dimana nilai tersebut cukup kecil dibandingkan dengan tinggi gelombang pada musim barat. Arah datang gelombang pada musim tersebut cenderung dari arah Barat Laut. Perbedaan Tinggi gelombang pada kedua musim tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan panjang *Fetch* dan juga kecepatan angin.



Gambar 4. 10 Model Gelombang Periode Angin Timur

Selain itu, gelombang yang menjalar dari perairan dalam (*deep water*) menuju perairan dangkal (*shallow water*) akan mengalami proses pendangkalan (*shoaling*) yang berupa pengurangan tinggi gelombang seiring perubahan kedalaman. Proses shoaling ini dapat dilihat dari efek model yang mengalami perubahan warna, yang berarti tinggi gelombang juga akan berubah seiring berkurangnya kedalaman (Aswad, Armono, Rahmawati, Ridlwan, & Ariefianto, 2021).

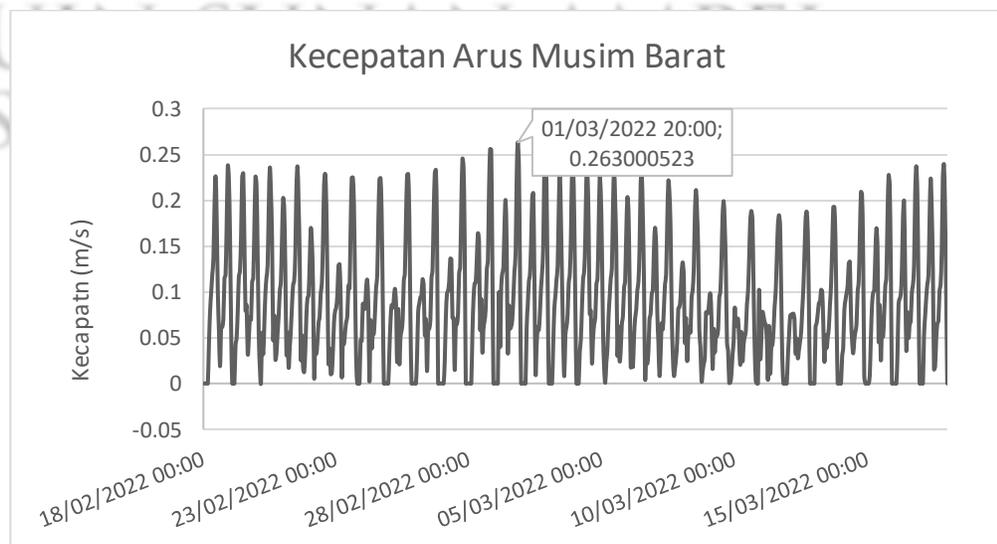


Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Gelombang Tanpa Adanya *Breakwater* dan Saat Adanya *Breakwater* Pada Musim Timur

Pada Gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan tinggi gelombang disaat melewati pemecah gelombang dan disaat tidak melewati pemecah gelombang. Perbedaan tinggi gelombang pada kedua grafik tersebut diakibatkan karena disaat penarikan garis Cross-section pada *Delft3D* tidak ditarik pada satu titik yang sama. grafik tanpa break water ditarik pada lokasi Timur Laut area oemecah gelombang sedangkan grafik berikutnya ditarik melewati pemecah gelombang sehingga terdapat jarak potongan grafik dimana pada jarak tersebut gelombang tereduksi oleh pemecah gelombang dan mengalami proses disfraksi. Pada grafik tersebut nilai gelombang yang tereduksi oleh pemecah gelombang sebesar 0,04 m dimana nilai tersebut lebih kecil dibandingkan pada saat musim barat.

#### 4.6 Pola Arah dan Kecepatan Arus Pada Musim Barat

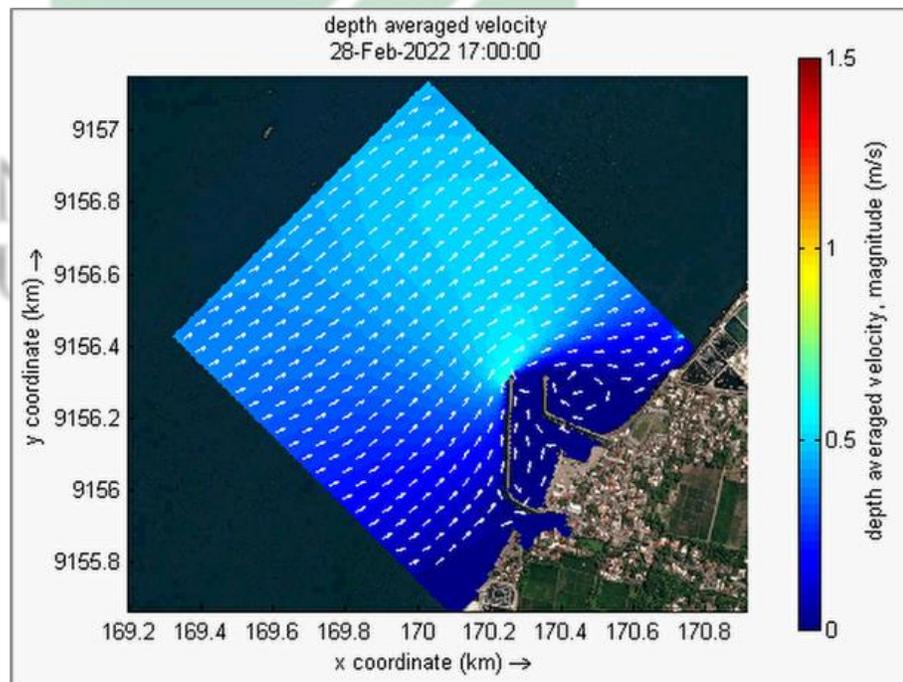
Pola pergerakan arus di wilayah perairan Pelabuhan Klabut Kabupaten Situbondo pada Musim Barat saat pasang tertinggi dan surut terendah secara berurutan disajikan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14. selanjutnya kecepatan arus pada saat musim barat disajikan pada grafik Gambar 4.12 sebagai berikut.



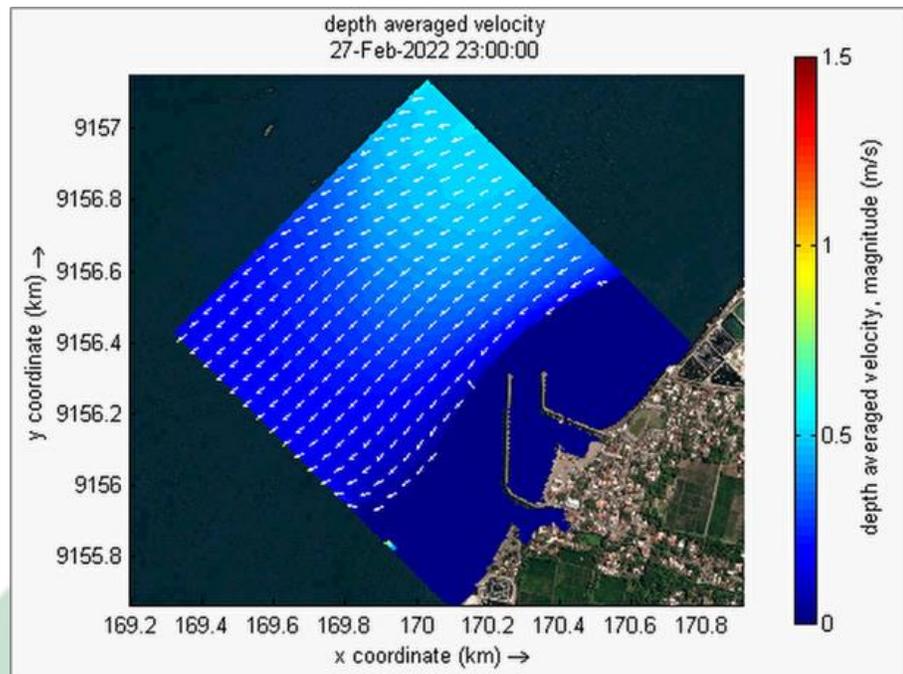
Gambar 4. 12 Grafik Kecepatan Arus Pada Musim Barat

Musim Barat di Indonesia di bagi berdasarkan bulan yaitu bulan Oktober-Maret, musim barat ini terjadi akibat bertiupnya angin dari benua Asia yang sedang mengalami musim dingin ke Benua Australia yang mengalami musim panas sehingga terjadi musim hujan di Indonesia karena angin membawa curah hujan yang tinggi / angin basah (Wibianto, 2016).

Berdasarkan hasil pemodelan arus pada musim barat, didapatkan nilai kecepatan arus tertinggi yaitu pada tanggal 1 maret 2022 Pukul 20.00 dengan nilai kecepatan mencapai 0,26 m/s. titik pengambilan sampel arus ini berada pada area pintu breakwater dimana pada area tersebut banyak kapal-kapal barang dan pengangkut ikan melintas pada area tersebut. kecepatan arus pada wilayah tersebut tidak terlepas dari adanya pengaruh angin, faktor pembangkit arus permukaan disebabkan oleh adanya angin yang bertiup diatasnya. Tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan (atas) sekitar 2% dari kecepatan angin itu sendiri. Kecepatan arus ini akan berkurang sesuai dengan makin bertambahnya kedalaman perairan sampai pada akhirnya angin tidak berpengaruh pada kedalaman 200 meter (Bernawis, 2000).



Gambar 4. 13 Pola Arus Pada Saat Pasang Tertinggi di Musim Barat



Gambar 4. 14 Pola Arus Pada saat surut terendah di Musim Barat

Berdasarkan hasil simulasi model pergerakan arus pada Gambar 4.13 menunjukkan pola arus ketika pasang tertinggi di musim barat dominan menuju kearah timur laut dan datang dari arah Barat Daya. Arus yang bergerak di sekitar Pelabuhan Kalbut membentuk pola sejajar dengan garis pantai. Arus sepanjang garis pantai (longshore current) dapat juga ditimbulkan oleh gelombang yang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai (Triadmodjo, 1999). Pola arus yang ada di dalam area Breakwater menunjukkan pergerakan vektor mengarah keluar area Breakwater yang menandakan air akan surut atau menuju ke surut sedangkan arus yang berada di sekitar area Breakwater mengalami pembelokan ke arah utara dikarenakan berbenturan dengan dinding breakwater. Kecepatan arus pada saat pasang berkisar antara 0-0,7 m/s dan kecepatan tertinggi terletak pada bibir pemecah ombak bagian barat dikarenakan arus yang datang dari arah Barat Daya dan terakumulasi pada titik tersebut.

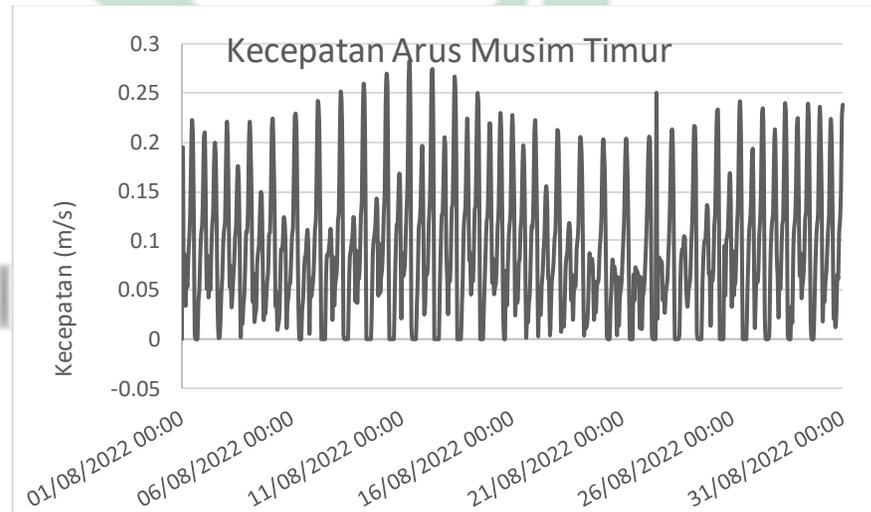
Pola arus pada Gambar 4.14 merupakan pola arus disaat kondisi surut terendah di musim barat. Hasil menunjukkan pergerakan arus sejajar dengan

garis pantai menuju ke arah Barat Daya dan dari arah Timur Laut. arus pada musim ini memiliki kecepatan berkisar antara 0,5 m/s – 0,7 m/s. kecepatan arus tertinggi berada di utara breakwater dikarenakan arus berasal dari arah timur laut.

#### 4.7 Pola Arah dan Kecepatan Arus Pada Musim Timur

Angin pada musim timur / angin muson timur adalah angin yang mengalir dari Benua Australia (musim dingin) ke Benua Asia (musim panas) sedikit curah hujan (kemarau) di Indonesia bagian Timur karena angin melewati celah-celah sempit dan berbagai gurun. Ini yang menyebabkan Indonesia mengalami musim kemarau. Terjadi pada bulan April-September.

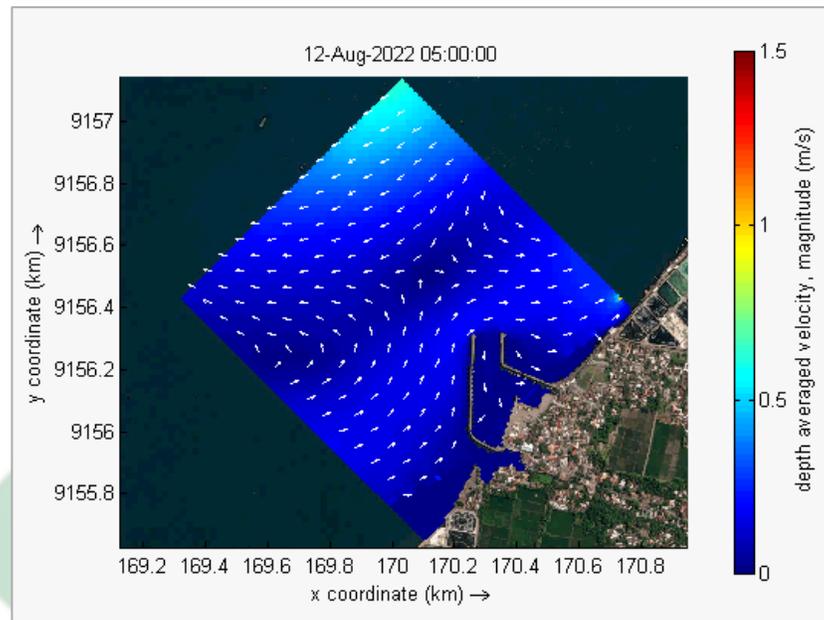
Pola pergerakan arus di wilayah perairan Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo pada Musim Timur saat pasang tertinggi dan surut terendah secara berurutan disajikan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17. selanjutnya kecepatan arus pada saat musim barat disajikan pada grafik Gambar 4.15 sebagai berikut.



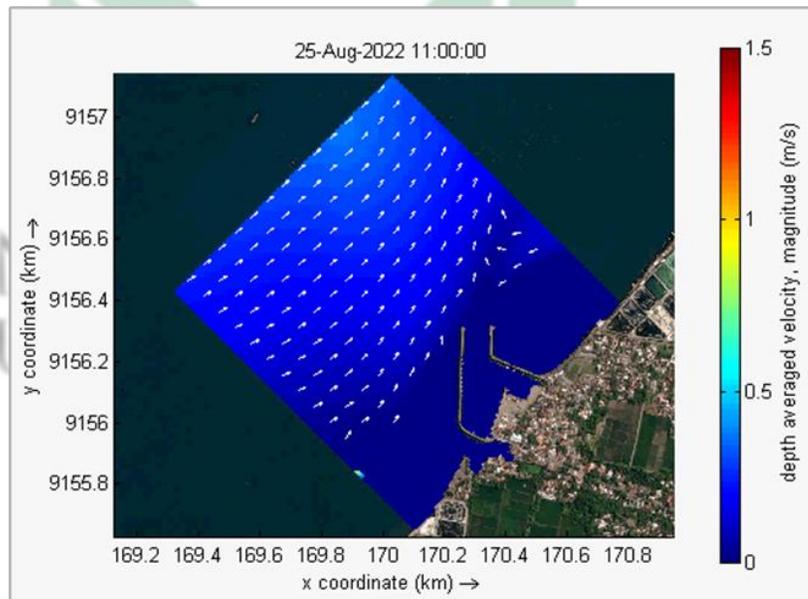
Gambar 4. 15 Grafik Kecepatan Arus Pada Musim Timur

Berdasarkan data pada Gambar 4.15 yang menunjukkan kecepatan arus pada musim timur di Pelabuhan Kalbut Kabupaten Situbondo dengan titik pengambilan data berada pada area dalam *breakwater*. Simulasi model dilakukan selama 1 bulan pada bulan agustus 2022. Dalam simulasi tersebut nilai kecepatan arus perairan Pelabuhan Kalbut pada musim timur berkisar

antara 0 – 0,28 m/s, nilai tersebut lebih besar dari kecepatan angin pada musim timur.



Gambar 4. 16 Pola Arus Pada Saat Pasang Tertinggi di Musim Timur



Gambar 4. 17 Pola Arus Pada Saat Surut Terendah Di Musim Timur

Berdasarkan gambar 4. 16 hasil simulasi arus pada musim timur didapatkan pola pergerakan arus mengarah dari Timur Laut menuju arah Barat Daya. Ketika pasang vektor menunjukkan arus masuk menuju area dalam

breakwater dengan kecepatan 0 – 0,4 m/s. Sedangkan arus yang berada di dekat pantai memiliki pola arus dari arah Barat Daya menuju ke Timur Laut sejajar dengan garis pantai. Arus tersebut menabrak dinding pemecah ombak dan berbelok ke arah utara. Penelitian (Putra, Indrayanti, Ismunarti, Handoyo, & Ismanto, 2021) menjelaskan bahwa pergerakan arus yang berlawanan arah atau dua arah dapat terjadi dikarenakan terdapat perbedaan kondisi ketinggian muka air laut yaitu fase surut menuju pasang atau pasang menuju surut.

Pada saat surut terendah pola arus menunjukkan pergerakan dari arah Barat Daya menuju ke arah Timur Laut. Dalam penelitian (Wibianto, 2016) menjelaskan kondisi arus pada wilayah selatan Madura (di pesisir Utara Probolinggo, Situbondo, dan di sebelah selatan Madura) pada Musim Timur cenderung mengarah dari Barat Daya menuju ke Timur – Timur Laut. Pergerakan arus permukaan laut terutama disebabkan oleh adanya angin yang bertiup di atas permukaan air. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi arus permukaan laut antara lain bentuk topografi dasar laut, teluk, selat serta pulau-pulau yang di sekitarnya, gaya Coriolis, arus ekman, perbedaan tekanan air, arus musiman, kelandaian serta perbedaan densitas, upwelling dan sinking Hutabarat and Evans (1985) dalam (Firdaus, 2017).

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil simulasi gelombang menunjukkan tinggi gelombang pada musim Barat berkisar antara 0 – 0,23 m dengan arah datang gelombang dari Barat – Barat Laut. sedangkan pada Musim Timur menunjukkan tinggi gelombang pada Musim Timur berkisar antara 0 – 0,1 m dimana nilai tersebut cukup kecil dibandingkan dengan tinggi gelombang pada musim barat. Arah datang gelombang pada musim tersebut cenderung dari arah Barat Laut. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama musim Barat, pelabuhan Kalbut cenderung mengalami gelombang yang lebih tinggi dibandingkan dengan musim Timur. Tinggi gelombang yang lebih besar pada musim Barat dapat berdampak pada operasi kapal dan keselamatan pelayaran di pelabuhan tersebut.
2. Berdasarkan hasil model arus dan pasang surut memiliki perbedaan kondisi. Kondisi arus pada musim barat memiliki pola arus kearah Timur Laut dengan kecepatan berkisar antara 0 – 0,8 m/s pada saat pasang tertinggi dan arah arus cenderung mengarah ke Barat Daya dengan kecepatan berkisar antara 0 – 0,7 m/s pada saat surut terendah. Pada Musim Timur arus cenderung mengarah ke Barat Daya pada saat pasang tertinggi dengan kecepatan berkisar 0 – 0,5 m/s dan pada saat surut cenderung mengarah ke Timur Laut dengan kecepatan berkisar 0 – 0,4 m/s Berdasarkan nilai konstanta harmonik pasang surut, diperoleh nilai MSL sebesar 148 cm dan bilangan *Fromzahl* (F) sebesar 1,27 ,nilai tersebut termasuk dalam tipe pasut campuran condong keharian ganda (mixed tide predominant semi diurnal).  
Berdasarkan nilai-nilai diatas menunjukkan bahwa selama musim Barat, pelabuhan Kalbut cenderung mengalami kecepatan arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan musim Timur. Kecepatan arus yang lebih tinggi pada

musim Barat dapat mempengaruhi navigasi kapal dan operasi di pelabuhan, memerlukan perhatian khusus dalam manuver kapal dan pengaturan pelayaran.

## **5.2 Saran**

Saran yang dapat penulis berikan sebagai bahan pertimbangan dalam studi lebih lanjut dalam topik ini adalah :

1. Perlu tersedianya ata pengukuran arus pada lokasi penelitian sebagai sarana verifikasi hasil model, untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.
2. Data kedalaman (Batimetri) yang digunakan sebaiknya yang paling baru dan sesuai dengan pengukuran secara langsung sehingga lebih bisa mewakili kondisi perairan yang sebenarnya.
3. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat memasukkan data debit sungai agar lebih detail mengetahui pengaruh sungai terhadap hasil model.
4. Waktu model dapat diperpanjang sehingga dapat dianalisa dalam jangka panjang,

UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini. (2019). *Analisis Penentuan Tinggi Gelombang Menggunakan Wave Watch III di Wilayah Perairan Pantai Tanjung Asmata, Bangka Barat*. Palembang : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.
- Ardiyanto, R., Ismanto, A., Widada, S., & Sampurno, J. (2022). model prediksi untuk pengendalian banjir rob menggunakan skema one-way coupling di pontianak, kalimantan barat. *jurnal teknik hidraulik*, 77-88.
- Aris, T. (2017). *Analisis Tipe Pasang Surut di Perairan Utara Jawa Timur*. Malang: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.
- Aswad , I., Armono , H., Rahmawati, S., Ridlwan, A., & Ariefianto, R. (2021). pemodelan tinggi gelombang untuk kajian energi gelombang laut di perairan barat provinsi lampung. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 75-84.
- Bernawis, L. (2000). Temperature and presure Responses on El-Nino (1997) and La-Nina (1998) in Lombok Strait. *PROC*.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. Washington: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Coastal Engineering Research Center.
- Dewi, R., Pratomo, A., & Jaya, Y. (2012). pendugaan tinggi gelombang berdasarkan kecepatan angin pada zona alur pelayaran diperairan tanjungpinang. *Tanjungpinang. Fak. Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 1-8.
- Fadika, U., Rifai, A., & Rochaddi, B. (2014). Arah Dan Kecepatan Angin Musiman Serta Kaitannya Dengan Sebaran Suhu Permukaan Laut Di Selatan Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, 429-437.
- Firdaus, M. (2017). analisis pola sirkulasi arus musim timur di perairan muncar, banyuwangi. Malang: FPIK Universitas Brawijaya.
- Fuad, M., & et al. (2021). pemodelan dan analisis perubahan garis pantai di kabupaten situbondo, jawa timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 335-349.
- Hadi, S., & Radjawane, I. (2009). *Arus Laut*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Hardjono, S. (2018). Analisa Ketinggian Gelombang yang Sesuai untuk Pengoperasian Kapal Cepat Rudal 60M di Perairan Indonesia. *Warta Penelitian Perhubungan*, 43-58.
- Hidayah, R., Suntoyo, & Armono, H. (2012). Analisa perubahan garis Pantai Jasri, Kabupaten Karangasem Bali. *Jurnal teknik Pomits*, 1-7.
- Kisnarti, E., & Prasita, V. (2019). *Pemodelan Hidrodinamika Muara Sungai, Studi kasus : Muara Sungai Porong Sidoarjo*. Surabaya: Hang Tuah Press.
- Manual, U. (2022). *Delft 3D- FLOW. Simulation of Multi-dimentional hydrodynamic Flows and Transport Phenomena, Including sediment*. Deltares.
- Mufid, M. (2019). *al-Qur'an dan Reklamasi*. Yogyakarta: BILDUNG.
- Muliati, Y. (2020). *Rekayasa Pantai*. Bandung: Itenas.
- Mulyadi, J., & Apriansyah. (2015). Studi Variabilitas Tiggi dan Periode Gelombang Laut Signifikan di Selat Karimata. *POSITRON*, 19-25.
- Pardede, F. (2016). Pengaruh fenomena La Nina Terhadap Konsentrasi Klorofil-A dengan Menggunakan Citra Aqua Modis (Studi Kasus : Perairan Selatan Kabupaten Malang). 1-6.
- Permadi, L., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2015). studi arus pada perairan laut di sekitar pltu sumuradem kabupaten indramayu, provinsi jawa barat. *Jurnal Oseanografi*, 516-523.
- Poerbandono, & Djunasjah. (2005). *Survey Hidrografi*. Bandung: PT.Refika Aditama.
- Purba, N., & Pranowo, W. (2015). *Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air dan Sirkulasi Laut*. Bandung: Unpad Press.
- Putra, A., Husrin, S., & Ridwan, N. (2013). Analisis perubahan garis pantai di pesisir timur laut Bali dengan menggunakan dataset penginderaan jauh. *Jurnal Kementerian Kelautan dan Perikanan*.
- Putra, R., Indrayanti, E., Ismunarti, D., Handoyo, G., & Ismanto, A. (2021). Pola Arus Perairan Kemujan, Karimunjawa Pada Musim Peralihan II Dengan Menggunakan Model Delft3D. *Indonesian Journal of Oceanography*, 306-321.

- R, W. (2008). *Energy from Ocean Waves. Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter. Uppsala*. Uppsala: Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertation from the Faculty of Science and Technology.
- Rohman , R., Salim, N., & Irawati. (2021). Study Break Water Untuk Pelabuhan Militer Di Situbondo. *Jurnal Smart Teknologi*, 1-11.
- Rustam, A., C, B., & Nur, H. (2016). Desain Konseptual Pengembangan Pelabuhan Khusus Ternak : Studi Kasus Pelabuhan Kalbut Situbondo. *Jurnal Pelabuhan Garongong*.
- Ryanto, N., Wiyono, R., & Hidayah, E. (2022). Studi Peramalan Pasang Surut di Pesisir Pantai Pancer Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. *Maspari Journal*, 1-13.
- Santoso, K., Putra, I., & Dharma, I. (2019). Studi Hindcasting Dalam Menentukan Karakteristik Gelombang dan Klasifikasi Zona Surf Di Pantai Uluwatu, Bali. *Journal of Marine And Aquatic Sciences*, 119-130.
- Sianturi, O., Widada, S., Prasetyawan, I., & Franto, N. (2013). Pemodelan Hidrodinamika Sederhana Berdasarkan Data Hidro-Oseanografi Lapangan di Teluk Lampung. *Jurnal Oseanografi*, 299-309.
- Suryono, Ambariyanto, Munasik, Sugianto, D., Ario Raden, Pratikno, I., . . . Anggita, T. (2021). Hidrodinamika Gelombang pada Terumbu Karang di Pulau Panjang, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina* , 307-318.
- Triadmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Ofset.
- Wibianto, S. (2016). *Studi Pengaruh Angin Terhadap Pembentukan Arah dan Kecepatan Arus Permukaan di Wilayah Utara dan Selatan Jawa Timur*. Malang: FPIK Universitas Brawijaya.