

**Pemodelan Sedimentasi Pra Pembangunan dan *Masterplan*
Breakwater di PPN Brondong Lamongan Menggunakan Delft3D**

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

BAHRUL ULUMUDDIN WAHID

NIM. H94218039

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Bahrul Ulumuddin Wahid

NIM : H94218039

Program Studi : Ilmu Kelautan

Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "PEMODELAN SEDIMENTASI PRA PEMBANGUNAN DAN *MASTERPLAN BREAKWATER* DI PPN BRONDONG LAMONGAN MENGGUNAKAN DELFT3D". Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 27 Oktober 2022

Yang Menyatakan,



(Bahrul Ulumuddin wahid)

H94218039

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

NAMA : BAHRUL ULUMUDDIN WAHID
NIM : H94218039
JUDUL : PEMODELAN SEDIMENTASI PRA PEMBANGUNAN DAN
MASTERPLAN BREAKWATER DI PPN BRONDONG LAMONGAN
MENGUNAKAN DELFT3D

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 21 April 2022

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



(Andik Dwi Muttakin, S.T., M.T.)
NIP.198204102014031001

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Bahrul Ulumuddin Wahid ini telah dipertahankan
di depan tim penguji skripsi
di Surabaya, 27 Oktober 2022

Mengesahkan,
Dosen Penguji

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



(Andik Dwi Mattaqin, S.T., M.T.)
NIP.198204102014031001

Dosen Penguji III



(Noverma, M.Eng)
NIP. 198111182014032002

Dosen Penguji IV



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

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya



(Depul Hamdani, M.Pd)
NIP.196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Bahrul Ulumuddin Wahid
NIM : H94218039
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Ilmu Kelautan
E-mail address : bahrululumm100@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 :

Pemodelan Sedimentasi Pra Pembangunan dan Masterplan Breakwater di PPN Brondong Lamongan Menggunakan Delft3D

beserta 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, 31 Januari 2023

Penulis



(Bahrul Ulumuddin Wahid)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

Pemodelan Sedimentasi Pra Pembangunan dan *Masterplan Breakwater* di PPN Brondong Lamongan Menggunakan Delft3D

Oleh : Bahrul Ulumuddin Wahid

Breakwater merupakan fasilitas pokok yang harus ada di wilayah pelabuhan perikanan guna mereduksi arus permukaan yang dapat mentranspor sedimen ke area kolam pelabuhan. Kawasan pelabuhan yang mengalami laju sedimentasi yang tinggi cenderung mengalami pengendapan sedimen. Pengendapan sedimen yang terjadi dapat mengakibatkan pendangkalan di area kolam pelabuhan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui perubahan pola arus, pola sedimen dan perubahan morfologi di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater*. Metode yang digunakan yaitu pemodelan menggunakan metode hidro-morfodinamika dengan software Delft3D. Pada analisis ini area kolam PPN Brondong Lamongan dibagi menjadi 4 area dengan 19 titik pengamatan, yang mana area 1-3 merupakan area sandar kapal dan area 4 adalah area luar kolam PPN Brondong Lamongan. Hasil model kecepatan arus rata-rata berkisar 0,002-0,08 m/s. Pada musim timur kondisi eksisting kecepatan arus di area kolam 2, 3, dan 4 lebih lambat dibandingkan saat *masterplan breakwater*, area kolam 1 kondisi eksisting memiliki kecepatan arus lebih cepat dibandingkan saat *masterplan breakwater*. Sedangkan pada musim barat kondisi eksisting kecepatan arus di area kolam 1 dan 2 lebih lambat dibandingkan saat *masterplan breakwater*, area kolam 3 pada kondisi eksisting lebih lambat daripada saat *masterplan breakwater* dan pada area 4 tidak mengalami perubahan kecepatan arus secara signifikan. Pada musim timur kondisi *masterplan breakwater* mengakibatkan penurunan konsentrasi sedimen tersuspensi di area 1, 2, dan 3. Namun area 4 cenderung naik yang berasal dari sungai bengawan solo. Pada musim barat kondisi *masterplan breakwater* mengakibatkan penurunan konsentrasi sedimen tersuspensi di area 1 dan 2 namun area 3 mengalami peningkatan akibat konsentrasi sedimen dari sungai kaliasinan, area 4 tidak mengalami perubahan secara signifikan. Perubahan morfologi dasar akibat *masterplan breakwater* terpisah mengakibatkan deposit di area dalam (1,2, dan 3). Sedimentasi terbesar terjadi pada area kolam 3 saat kondisi *breakwater* yaitu sebesar 1,94 cm/bulan, area kolam 2 kondisi eksisting memiliki perubahan morfologi terkecil yaitu 0,008 cm/bulan.

Kata kunci : *Breakwater*, Arus, Sedimentasi, Delft3D

ABSTRACT

Sedimentation Modeling Pre Development and *Masterplan Breakwater* at PPN Brondong Lamongan Using Delft3d

By : Bahrul Ulumuddin Wahid

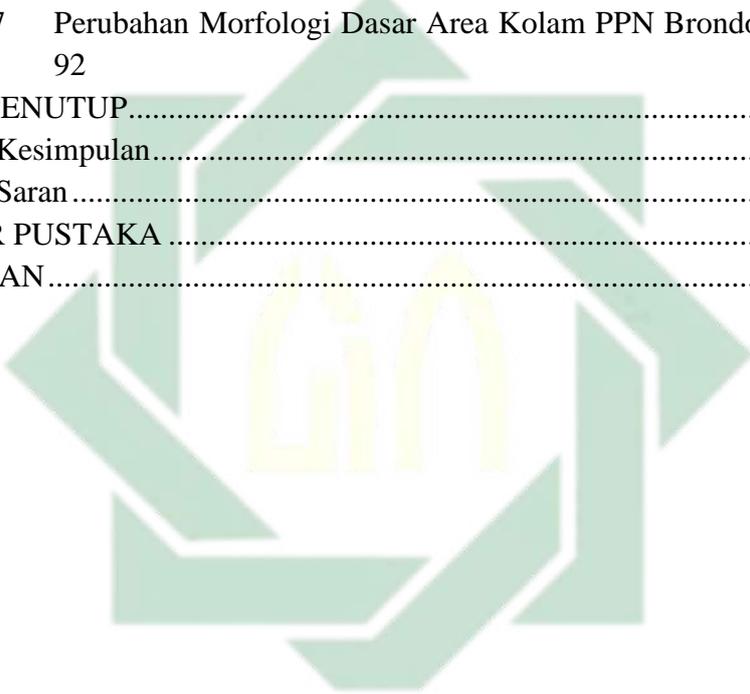
Breakwater is a basic facility that must exist in the fishing port area in order to reduce surface currents which can transport sediment to the harbor pond area. Port areas that experience high sedimentation rates tend to experience sediment deposition. Sedimentation that occurs can result in siltation in the harbor pond area. The purpose of this study was to determine changes in current patterns, sediment patterns and morphological changes at the Nusantara Fishery Port of Brondong Lamongan in the existing conditions and the *breakwater* master plan. The method used is modeling using the hydro-morphodynamics module with Delft3D software. In this analysis the Brondong Lamongan PPN pool area is divided into 4 areas with 19 observation points, of which area 1-3 is the boat berthing area and area 4 is the outside area of the Brondong Lamongan PPN pool. The model results average current velocity ranges from 0.002-0.08 m/s. In the east monsoon, the existing condition of the current velocity in pond areas 2, 3, and 4 is slower than during the *breakwater* master plan, the existing condition of pond area 1 has a faster current velocity than during the *breakwater* master plan. Meanwhile, in the west monsoon, the current velocity in pond areas 1 and 2 is slower than during the *breakwater* master plan, pond area 3 at Ti & Tl points, the existing conditions are slower than during the *breakwater* master plan and in area 4 there is no significant change in current velocity. In the east monsoon, the condition of the *breakwater* master plan results in a decrease in suspended sediment concentrations in areas 1, 2 and 3. However, area 4 tends to increase, originating from the Bengawan Solo river. In the west monsoon the *breakwater* master plan condition resulted in a decrease in suspended sediment concentrations in areas 1 and 2 but area 3 experienced an increase due to sediment concentration from the Kaliasinan river, area 4 did not experience a significant change. Changes in bottom morphology due to separate masterland *breakwaters* resulted in deposits in deep areas (1, 2, and 3). The largest sedimentation occurred in pond area 3 during *breakwater* conditions, which was 10.53 cm/month, while pond area 1 in existing conditions had the smallest morphological change, namely 0.28 cm/month.

Keywords : *Breakwater*, Current, Sedimentation, Delft3D

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Teori-Teori Dasar	6
2.1.1 Struktur Pelindung Pantai	6
2.1.2 Arus	7
2.1.3 Angin.....	10
2.1.4 Pasang Surut.....	11
2.1.5 Sedimentasi	16
2.1.6 Mekanisme Transpor Sedimen.....	19
2.1.7 Program Delft3D.....	20
2.2 Integrasi Keilmuan	26
2.3 Tinjauan Penelitian Terdahulu	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	32
3.2 Alat	35
3.3 Sumber Data	36
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.4.1 Tahapan Penelitian	37
3.5 Desain Model	53
3.5.1 <i>Masterplan Breakwater</i>	53
3.5.2 Grid Pemodelan.....	54
3.5.3 Domain Kedalaman Awal	55
3.5.4 Parameter Model	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Pengolahan Data-Data	59
4.1.1 Distribusi Data Angin	59

4.1.2	Data Pasang Surut	64
4.1.3	Data Debit Sungai	66
4.1.4	Data Konsentrasi Sedimen Kohesif	67
4.2	Pemodelan Hydro-Morfodinamik	68
4.2.1	Kondisi Batas Pemodelan	68
4.2.2	Validasi Pemodelan.....	68
4.2.3	Hasil Pemodelan Arus Pada Musim Timur.....	69
4.2.4	Hasil Pemodelan Arus Pada Musim Barat.....	74
4.2.5	Hasil Laju Sedimentasi Musim Timur	79
4.2.6	Hasil Laju Sedimentasi Musim Barat	84
4.2.7	Perubahan Morfologi Dasar Area Kolam PPN Brondong Lamongan 92	
BAB V PENUTUP.....		99
5.1	Kesimpulan.....	99
5.2	Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA		101
LAMPIRAN.....		105



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Komponen-Komponen Pasang Surut.....	16
Tabel 2. 2. Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen dalam Skala Wentworth.....	18
Tabel 2. 3. Penelitian Terdahulu	28
Tabel 3. 1. Koordinat Titik Pengamatan	34
Tabel 3. 2. Alat dan Fungsi dalam Penelitian	35
Tabel 3. 3. Data dan Sumber Penelitian	36
Tabel 3. 4. Parameter Pemodelan.....	58
Tabel 4. 1. Presentase Distribusi Angin Tahun 2017 - 2021	60
Tabel 4. 2. Komponen Harmonik dan Istilah Penting Pasut di PPN Brondong Lamongan.....	65
Tabel 4. 3. Debit Sungai di Sekitar PPN Brondong Lamongan.....	67
Tabel 4. 4. Sedimen Kohesif Muara Sungai di Sekitar PPN Brondong Lamongan	67
Tabel 4. 5. Kondisi Arus PPN Brondong Lamongan pada Musim Timur.....	73
Tabel 4. 6. Arus Rata-Rata di Masing-Masing Area Kolam Musim Timur	73
Tabel 4. 7. Kondisi Arus PPN Brondong Lamongan pada Musim Barat	78
Tabel 4. 8. Arus Rata-Rata di Masing-Masing Area Kolam Musim Barat.....	78
Tabel 4. 9. Sebaran SSC Musim Timur di Kawasan Perairan PPN Brondong Lamongan.....	83
Tabel 4. 10. Sebaran SSC Musim Barat di Kawasan Perairan PPN Brondong Lamongan.....	88
Tabel 4. 11. Perubahan Morfologi Kondisi Eksisting dan <i>Breakwater</i> di 4 Area Kolam PPN Brondong	94

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Pendangkalan Kolam Pelabuhan Akibat Sedimentasi di PPN Brondong Lamongan.....	2
Gambar 1. 2. Pembagian Luas Area Kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan.....	3
Gambar 2. 1. Skematik Arus Balik Dasar	9
Gambar 2. 2. Longshore Current diakibatkan karena gelombang datang yang membentuk <i>Oblique</i> dengan garis pantai	9
Gambar 2. 3. Pola Gerak Pasut Harian Tunggal (<i>Diurnal tide</i>).....	12
Gambar 2. 4. Pola Gerak Pasut Harian Ganda (<i>Semi diurnal tide</i>).....	12
Gambar 2. 5. Pola Gerak Pasut Campuran Condong ke Harian Ganda (<i>Mixed tide prevealling semi diurnal</i>)	13
Gambar 2. 6. Pola Gerak Pasut Condong ke Harian Tunggal (<i>Mixed tide prevealling diurnal</i>)	13
Gambar 2. 7. Macam-Macam Mekanisme Transpor Sedimen	20
Gambar 2. 8. Arsitektur Sistem Delft3D.....	20
Gambar 3. 1. Peta Lokasi Penelitian	32
Gambar 3. 2. Peta Lokasi Titik Pengamatan.....	33
Gambar 3. 3. Detail Titik Lokasi Pengamatan	35
Gambar 3. 4. Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3. 5. Diagram Alir Pemodelan.....	38
Gambar 3. 6. Input Domain Pemodelan.....	43
Gambar 3. 7. Input Waktu Pemodelan	43
Gambar 3. 8. Input Proses dalam Pemodelan	44
Gambar 3. 9. Input Kondisi Awal Pemodelan	45
Gambar 3. 10. Input Kondisi Batas Pemodelan	46
Gambar 3. 11. Input Parameter Fisik Perairan.....	49
Gambar 3. 12. Input Debit Aliran Sungai	50
Gambar 3. 13. Input Observation Point	51
Gambar 3. 14. Input Penampang Melintang	51
Gambar 3. 15. <i>Masterplan Breakwater</i>	53
Gambar 3. 16. Grid PPN Brondong Lamongan	55
Gambar 3. 17. Desain Model Besar	56
Gambar 3. 18. Desain Model Kecil pada Kondisi Eksisting.....	56
Gambar 3. 19. Desain Model Kecil pada Kondisi <i>Masterplan Breakwater</i>	57
Gambar 4. 1. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan Tahun 2017 – 2021	60
Gambar 4. 2. Presentase Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin pada Musim Timur	61
Gambar 4. 3. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan pada Musim Timur	62
Gambar 4. 4. Presentase Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin pada Musim Barat	63
Gambar 4. 5. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan pada Musim Barat	64

Gambar 4. 6. Grafik Pasang Surut PPN Brondong Lamongan	65
Gambar 4. 7. Kalibrasi Muka Air Pemodelan Delft3D dengan BIG	69
Gambar 4. 8. Pola Pergerakan Arus Musim Timur Pra <i>Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	70
Gambar 4. 9. Pola Pergerakan Arus Musim Timur Pra <i>Breakwater</i> saat Surut Terendah.....	70
Gambar 4. 10. Pola Pergerakan Arus Musim Timur <i>Masterplan Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	71
Gambar 4. 11. Pola Pergerakan Arus Musim Timur <i>Masterplan Breakwater</i> saat Surut Terendah	72
Gambar 4. 12. Pola Pergerakan Arus Musim Barat Pra <i>Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	75
Gambar 4. 13. Pola Pergerakan Arus Musim Barat Pra <i>Breakwater</i> saat Surut Terendah.....	75
Gambar 4. 14. Pola Pergerakan Arus Musim Barat <i>Masterplan Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	76
Gambar 4. 15. Pola Pergerakan Arus Musim Barat <i>Masterplan Breakwater</i> saat Surut Terendah	77
Gambar 4. 16. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur Pra <i>Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	80
Gambar 4. 17. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur Pra <i>Breakwater</i> Saat Surut Terendah.....	80
Gambar 4. 18. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur <i>Masterplan Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	82
Gambar 4. 19. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur <i>Masterplan Breakwater</i> Saat Surut Terendah	82
Gambar 4. 20. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat Pra <i>Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	85
Gambar 4. 21. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat Pra <i>Breakwater</i> saat Surut Terendah.....	85
Gambar 4. 22. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat <i>Masterplan Breakwater</i> saat Pasang Tertinggi.....	86
Gambar 4. 23. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat <i>Masterplan Breakwater</i> saat Surut Terendah	87
Gambar 4. 24. <i>Mass of Sediment</i> Area 1 (a). Area 2 (b). Area 3 (c). Area 4 (d) ...	91
Gambar 4. 25. Kondisi Awal Kedalaman Model Eksisting	93
Gambar 4. 26. Kondisi Akhir Kedalaman Model <i>Breakwater</i>	93
Gambar 4. 27. Tampilan <i>Cross Section</i> Perubahan Morfologi di 4 Area Kolam PPN Brondong.....	97

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Peta Topografi dan Batimetri PPN Brondong Lamongan	105
Lampiran 2. <i>Masterplan Breakwater</i> 2021	105
Lampiran 3. Konsatanta Harmonik Pasut pada Kondisi Batas Pemodelan	106
Lampiran 4. Kalibrasi Hasil Pemodelan Pasang Surut	108
Lampiran 5. Arus Kondisi Eksisting dan <i>Masterplan Breakwater</i> di 19 Titik Observasi.....	125
Lampiran 6. Laju Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Kondisi Eksisting dan <i>Masterplan Breakwater</i> di 19 Titik Observasi.....	131



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong merupakan suatu kawasan pelabuhan perikanan yang terletak di wilayah pesisir utara Jawa Timur yang memiliki luas 433,304 m² yang lingkupnya terdiri dari wilayah kerja daratan seluas 19,93 Ha dan wilayah kerja perairan seluas 23,40 Ha, Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan mampu melayani 8.791 kapal perikanan tradisional dan modern yang mana aktivitas bongkar muatnya dapat mencapai lebih dari 53.000 ton per tahun dengan nilai produksi hasil tangkapan mencapai hampir Rp. 1 Triliun dengan kapasitas kapal nelayan terbanyak yang memiliki ukuran dibawah 30 GT (*Gross Tonnage*) (Ibrahim, 2018). PPN Brondong Lamongan merupakan pelabuhan perikanan terbesar di Jawa Timur yang termasuk kedalam kawasan Minapolitan sejak tahun 2010 berdasarkan Kepmen Kelautan dan Perikanan No.32/MEN/KP (Giamurti et al., 2015)

Menjelang memasuki tahun 2019, PPN Brondong Lamongan terdapat kegiatan relokasi aktivitas bongkar muat hasil tangkapan ikan, yang mana pelabuhan lama telah dianggap kurang efisien dalam menampung hasil tangkapan ikan dan terbatasnya ruang lingkup dalam beraktivitas di TPI pelabuhan lama. Setelah relokasi pelabuhan lama ke pelabuhan baru terealisasi, terdapat persoalan yang menyebabkan terhambatnya kegiatan nelayan dalam berlayar, berlabuh, maupun pada saat bongkar muat yang diakibatkan karena pendangkalan yang terjadi di area kolam pelabuhan baru (Tambunan et al., 2021).

Berdasarkan peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) nomor 16 pada tahun 2020 terkait organisasi dan tata kerja Unit Pelaksanaan Teknis yang ada pada pasal 38 dan 39 menyebutkan bahwa, Balai Teknik Pantai mempunyai tugas pokok dan fungsi untuk melakukan kegiatan perekayasaan, pengembangan, inspeksi, pengkajian, sertifikasi dan pelaksanaan pelayanan teknis pengujian di bidang pantai (Persub, 2020).

Menurut Advis Teknis Desain *Breakwater* yang tertulis dalam (PUPR, 2021) bahwa telah terlaksana program kunjungan kerja Presdien RI di lokasi Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Kabupaten Lamongan pada 6 Mei 2021 guna meninjau dan menindaklanjuti pra perencanaan struktur *breakwater*. Menurut (Triatmodjo, 1996) pelabuhan nelayan merupakan wilayah perairan yang sebisa mungkin dapat terhindar dari sedimentasi, di sekitar wilayah pelabuhan tentunya memiliki fasilitas terminal laut guna beroperasinya bongkar muat barang. Menurut (Poerbondono & Djunasjah, 2005) menyatakan bahwa pergerakan arus dari waktu ke waktu merupakan informasi yang penting dalam peristiwa transpor energi, arah dan kecepatan arus dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya intensitas yang bekerja pada dasar perairan. Pengaruh arus pasut tersebut mampu memindahkan sedimen dari suatu tempat ke tempat yang lain, sehingga perpindahan sedimen tersebut dapat mengakibatkan pendangkalan di 3 wilayah tempat kapal-kapal nelayan tersebut berlabuh serta mempengaruhi aktivitas nelayan ketika telah memasuki jam operasional berlayar untuk mencari ikan. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1. 1** di bawah ini.



Gambar 1. 1. Pendangkalan Kolam Pelabuhan Akibat Sedimentasi di PPN Brondong Lamongan

Sumber : (PUPR, 2021)

Rencana yang telah disetujui oleh Presiden RI terkait *breakwater* sepanjang 50 m disisi utara dan 300 m disisi timur diharapkan nantinya dapat mengurangi sedimentasi pada kawasan kolam, yang mana tempat berlabuh kapal-kapal nelayan di PPN Brondong terbagi menjadi 3 area. Fenomena

yang sering terjadi dalam suatu kawasan industri pesisir khususnya pelabuhan perikanan yang minim akan bangunan pemecah gelombang dapat menyebabkan sedimentasi yang dihantarkan oleh arus permukaan menuju wilayah kolam pelabuhan. Berdasarkan landasan tersebut perlunya dilakukan kajian mengenai pola sebaran arus dan pola sebaran sedimen di 4 area kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan (Prasetyo, 2021).



Gambar 1. 2. Pembagian Luas Area Kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan

Sumber : (PUPR, 2021)

Kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong akan terus menerus mengalami peristiwa sedimentasi apabila tidak dilakukannya analisis dan evaluasi lebih lanjut tentang kondisi eksisting dan kondisi *masterplan breakwater*. Beberapa pernyataan yang disampaikan oleh sebagian nelayan yang bertemu oleh Bapak Presiden juga memberikan usul bahwa tidak hanya memohon izin untuk dibuatkan struktur pemecah gelombang, namun dilakukan juga aktivitas pengerukan kolam pelabuhan yang telah mengalami sedimentasi (PUPR, 2021). Persoalan sedimentasi di 4 area kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Lamongan dapat dikaji melalui pemodelan yang menggunakan piranti lunak Delft3D. Nantinya hasil dari pemodelan dapat

menunjukkan laju sedimen akibat pergerakan massa air di 4 area kolam PPN Brondong pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater*.

1.2 Rumusan Masalah

Latar belakang yang telah di jelaskan di atas, maka dapat di ambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pola sebaran arus di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan?
2. Bagaimana pola sebaran sedimen di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan?
3. Bagaimana perubahan morfologi dasar di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu antara lain :

1. Mengetahui pola sebaran arus di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan.
2. Mengetahui pola sebaran sedimen di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan.
3. Mengetahui perubahan morfologi dasar di Kolam Pelabuhan 1, 2, 3 dan 4 pada peristiwa pra pembangunan dan *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang nantinya dapat diperoleh dari hasil penulisan penelitian ini antara lain :

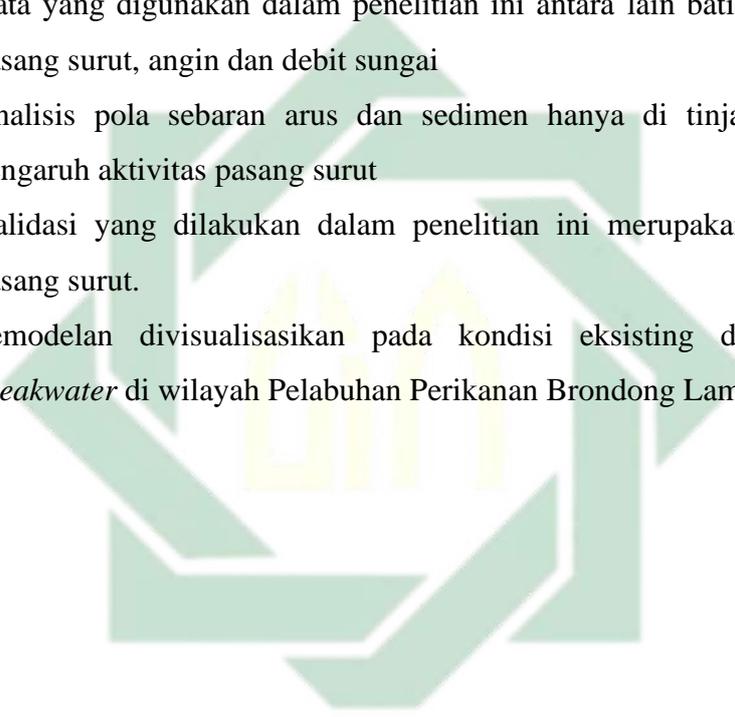
1. Memberikan sumber informasi mengenai pola arus dan sedimentasi di Pelabuhan Perikanan Brondong Lamongan sebelum dan sesudah pembangunan struktur pemecah gelombang di wilayah kolam pelabuhan.

2. Memberikan suatu pertimbangan terkait kajian dan analisis pembangunan berkelanjutan dan efektivitas pencegahan sedimentasi di area kolam pelabuhan pasca *masterplan breakwater*.

1.5 Batasan Masalah

Supaya dapat mengetahui cakupan persoalan yang nantinya akan dibahas pada penulisan penelitian ini, maka sangat perlu adanya batasan masalah guna menjaga fokus target yang akan dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain batimetri, sedimen, pasang surut, angin dan debit sungai
2. Analisis pola sebaran arus dan sedimen hanya di tinjau dari adanya pengaruh aktivitas pasang surut
3. Validasi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan validasi data pasang surut.
4. Pemodelan divisualisasikan pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater* di wilayah Pelabuhan Perikanan Brondong Lamongan.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori-Teori Dasar

2.1.1 Struktur Pelindung Pantai

Perencanaan pembangunan struktur pelindung pantai merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi erosi ataupun akresi pada kondisi morfologi di wilayah pantai. Menurut pernyataan yang tertulis dalam karya (Mojabi, 1970) menjelaskan faktor hubungan kerendaman dan porositas pada struktur *breakwater* dengan kajian penelitian transpor sedimen. Dalam penelitian tersebut deskripsi tentang struktur pelindung pantai dapat dirangkum bahwa kerendaman dan porositas dari bangunan pelindung pantai berpengaruh akan terjadinya sedimentasi atau erosi.

Masalah yang tidak biasa yang sering dijumpai di daerah pesisir adalah erosi pantai. Erosi pantai dapat menyebabkan kerugian besar yang dapat berakibat rusaknya daerah pemukiman dan pusat-pusat yang ada di dalam daerah yang terkena dampak (Triatmodjo, 1996). Sistem pantai yang ditempatkan di dalam atau di tepi laut dari zona *surf* secara teratur dimaksudkan untuk membatasi erosi garis pantai, atau untuk mendorong pelebaran tepi laut melalui cara pembentukan garam. Manfaat yang paling penting dari struktur pelindung pantai yaitu untuk mengurangi kuantitas kekuatan gelombang dan untuk memicu pengendapan sedimen di garis pantai melalui perubahan arus dekat pantai (Ranasinghe, 2006).

Pernyataan yang tertulis dalam bab bangunan pantai oleh (Triatmodjo, 2016) menjelaskan bahwa struktur bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan yang diakibatkan karena hantaman gelombang dan arus. Terdapat beberapa cara yang dilakukan untuk melindungi wilayah pantai antara lain :

1. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai dengan bangunan pelindung pantai (*Breakwater, Revetment, Groin, dan Jetty*)
2. Reklamasi dengan menambah dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.
3. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai

Struktur pemecah gelombang (*Breakwater*) dapat dibedakan menjadi dua macam, tipe yang pertama yaitu pemecah gelombang lepas pantai, sedangkan tipe pemecah gelombang yang kedua yaitu sambung pantai. Struktur bangunan pemecah gelombang lepas pantai banyak digunakan untuk perlindungan pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai bibir pantai. Sedangkan struktur bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) tipe yang kedua secara umum digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan aktivitas operasional pelabuhan (Triatmodjo, 2016).

2.1.2 Arus

Arus merupakan gerakan suatu badan air yang terletak di kolom perairan yang dibangkitkan oleh gelombang, pasang surut hingga angin pada tingkatan tertentu (Poerbondono & Djunasjah, 2005). Sirkulasi arus terbagi menjadi dua kategori, yaitu sirkulasi permukaan dan sirkulasi arus dalam. Peristiwa arus yang terjadi di permukaan secara umum dibangkitkan oleh faktor angin, sedangkan sirkulasi arus didalam laut didominasi oleh aktivitas termohalin.

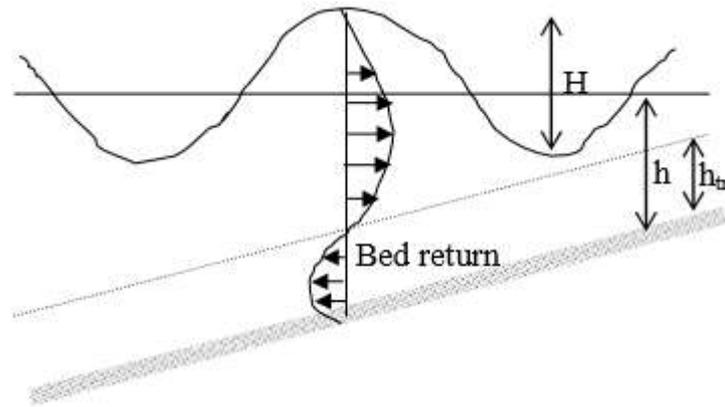
Sirkulasi termohalin merupakan perputaran massa air yang ada di dalam kolom perairan dalam skala global yang mempertemukan semua lautan yang ada di dunia, salah satunya yaitu (*Arlindo*) Arus Lintas Indonesia yang menghubungkan antara Samudera Hindia dengan Samudra Pasifik (Suteja et al., 2015). Topografi pada Samudera Pasifik memiliki lengkung dasar atau paras yang lebih tinggi daripada Samudera Hindia, fenomena tersebut termasuk salah satu sebab dari terjadinya peristiwa Arus Lintas Indonesia (*Arlindo*) (Atmadipoera & Hasanah, 2018). Berdasarkan (Gordon, 1986) arus yang terjadi di Indonesia termasuk kedalam sistem arus termoklin, yang mana alirannya dimulai dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia yang melewati berbagai selat, laut, subbasin, dan cabang utama arus dari siklus termohalin global yang menghantarkan massa air hangat dan memiliki kadar garam yang tinggi daripada Samudera Pasifik.

Terjadinya arus yang berada di dasar perairan diakibatkan karena terdapat perbedaan kerapatan atau massa air yang disebabkan oleh berubahnya suhu dan salinitas air laut secara berskala (Aziz, 2006). Menurut (Triatmodjo, 1996) menyatakan bahwa terjadinya penjalaran partikel, massa air dan momentum yang terbawa menuju ke arah daratan merupakan pengaruh dari gelombang, peristiwa transpor momentum dan massa dapat menimbulkan arus di dekat pantai. Pergerakan arus pada suatu wilayah bisa menjadikan sirkulasi sel yang mana tergantung dari bentuk dasar yang ada di laut. Konstituen sirkulasi sel merupakan Bergeraknya massa air menuju wilayah daratan yang kemudian akan terjadi arus sejajar garis pantai, gelombang pecah, dan *RIP Current*.

Sebagian besar wilayah perairan di Indonesia memiliki arus yang dipengaruhi oleh pasang surut dan angin (Tanto & Hartanto, 2021). Energi yang dimiliki oleh arus untuk membawa suatu partikel atau komponen yang ada di laut memiliki kapasitas angkut yang sebanding dengan kecepatan arus. Cabang dari tekanan (*Stress*) yang terjadi karena gesekan antara dasar perairan dengan gerak badan air disebut dengan (*Carrying capacity*) (Poerbondono & Djunasjah, 2005). Pembagian zona Bergeraknya arus terbagi menjadi beberapa bagian, namun terdapat salah satu zona yang memang merupakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap dinamika pantai. Zona tersebut merupakan *Surf Zone*, arus yang terjadi pada zona surf dikategorikan menjadi tiga jenis antara lain (Sulaiman, 2008) :

1. Arus Balik Dasar (*bed return currents*)

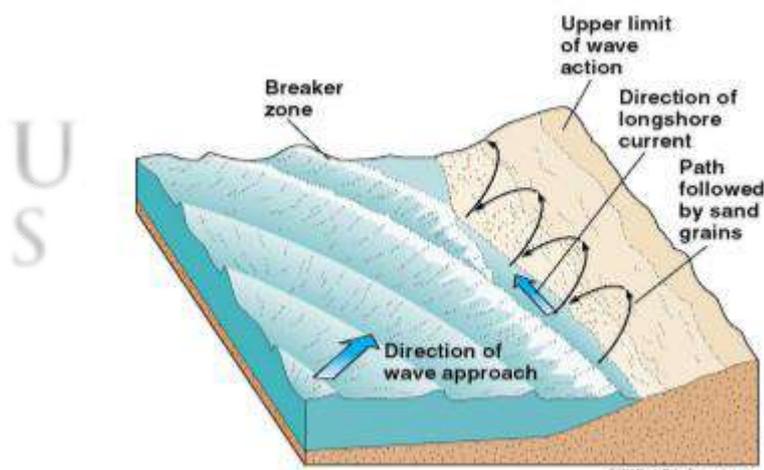
Arus ini sering juga disebut arus pantai bergerak karena arus tersebut diarahkan jauh dari pantai. Peristiwa tersebut mudah kita alami jika kita berdiri di tepi pantai. Berdasarkan (Ilahude, 2002) menjelaskan di karya tulis ilmiahnya mengenai pengertian dari *nearshore current* secara bahasa yaitu arus kepil susur. Saat gelombang melewati kaki maka dapat merasakan pasir yang kita pijak bisa saja terkikis. Pengikisan pasir tersebut karena adanya pergeseran badan air ke arah laut. Skema arus balik dasar dapat terlihat pada **Gambar 2.1** berikut :



Gambar 2. 1. Skematik Arus Balik Dasar
(Sumber : (Short, 1999))

2. Arus Sejajar Pantai (*longshore currents*)

Suatu Gelombang yang tidak terdapat pada lintasan yang tegak lurus pantai maka gelombang tersebut akan menghasilkan arus yang melewati garis pantai atau dikenal dengan arus sejajar pantai (*longshore currents*). Karena adanya perilaku arus, pengiriman sedimen terjadi di dalam jalur yang sejajar dengan pantai sehingga jika gerakan badan air dominan biasanya akan membentuk morfologi pantai secara sejajar. Skema arus sejajar pantai dapat dilihat pada **Gambar 2. 2** berikut:



Gambar 2. 2. Longshore Current diakibatkan karena gelombang datang yang membentuk *Oblique* dengan garis pantai
(Sumber : Thomson,2001)

Berdasarkan (Ilahude, 2002) menjelaskan di karya tulis ilmiahnya mengenai pengertian dari *longshore current* secara bahasa yaitu arus turut-rantau (susur).

3. Arus RIP/Sirkulasi sel

Arus yang mungkin merupakan kumpulan arus sejajar pantai dan arus tegak lurus pantai. Sistem kombinasi arus ini merupakan perputaran yang sering disebut dengan sirkulasi sel. Pergerakan arus secara sirkular ini dimulai dari gelombang yang datang, kemudian menghasilkan *longshore* dan kemudian gerakan badan air tersebut berbelok sembilan puluh derajat membentuk arus tegak lurus menuju laut lepas. Jika arus tegak lurus terhadap pantai bereaksi atau menghasilkan energi dengan cepat (mungkin mencapai 3m/s) maka gerakan badan air tersebut disebut arus RIP.

2.1.3 Angin

Angin merupakan sirkulasi udara yang mengalir hampir sejajar dengan permukaan bumi. Siklus ini disebabkan oleh perubahan suhu. Ketika udara menjadi panas, rapat massa menjadi kurang padat dan naik untuk menggantikan udara dingin. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan anemometer. Satuan kecepatan angin biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot yaitu panjangnya satu menit untuk menempuh khatulistiwa selama satu jam, dan satu knot = 1.852 km/jam. Data angin yang direkam setiap jam menunjukkan kecepatan, periode, dan arah angin. Data aliran udara tahunan harus diproses dan ditampilkan dalam grafik yang disebut tabular atau wind roses. Mawar angin memungkinkan untuk membaca karakteristik angin dengan cepat (Triatmodjo, 2009). Gelombang yang disebabkan oleh angin dapat mengalami perubahan yang sangat signifikan di kawasan pantai (Sorensen, 2006). Energi akan ditransmisikan ke permukaan air dari kecepatan angin yang bertiup di permukaan laut, dan permukaan laut yang semula tenang membentuk gelombang. Penjalaran gelombang dapat semakin besar seiring dengan kecepatan angin yang terus meningkat. Dan ketika angin terus bertiup,

gelombang dihasilkan. Semakin lama dan kuat kecepatan angin, semakin besar peristiwa gelombang yang terjadi (Triatmodjo, 2016).

Pada umumnya kecepatan angin berfluktuasi, sehingga dalam menentukan kecepatan angin diambil kecepatan rata-rata selama 10 menit dan dibulatkan ke harga satuan terdekat dalam knot. Jika kecepatannya kurang dari 1 knot, kondisinya dianggap ringan (*calm*) (Soepangkat, 1994). Menurut (Triatmodjo, 2016) menyatakan bahwa untuk memperkirakan pengaruh kecepatan angin terhadap pembangkitan gelombang, beberapa rumus atau grafik untuk memprediksi gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada $y = 10$ m (Triatmodjo, 2016).

2.1.4 Pasang Surut

Pasang surut adalah salah satu aspek oseanografi fisik yang paling penting dalam menentukan pengembangan ruang pesisir. Kondisi pasang surut berfungsi dalam eksploitasi ruang pesisir, baik dalam pemanfaatan ruang daratan pesisir maupun dalam pendayagunaan pesisir. Oleh karena itu, dapat dikatakan hampir tidak ada pemanfaatan ruang pantai yang tidak memerlukan informasi pasang surut (Rampengan, 2012).

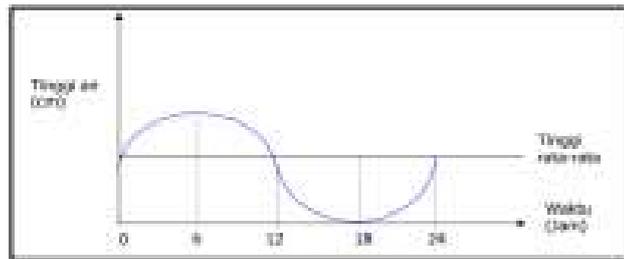
Puncak muka air pasang surut merupakan jarak vertikal antara HHWL dan LLWL yang berurutan. Panjang pasut adalah waktu yang dibutuhkan dari *Sea Level* pada *Mean Sea Level* ke lokasi identik berikutnya. Panjang waktu pasut bergantung pada karakteristik pasut yang terjadi. Lama periode saat muka air naik disebut sebagai pasang, sementara saat muka air turun disebut sebagai surut. Pasang surut tidak hanya berpengaruh pada lapisan di permukaan perairan saja, namun seluruh massa air dan intensitasnya juga sangat besar (Korto, 2015).

Pasang surut di berbagai daerah memiliki karakteristik yang berbeda karena dipengaruhi oleh topografi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya. Di beberapa tempat, terdapat perbedaan antara kondisi pasang tertinggi dan surut terendah (kisaran level pasang surut). Proses pembentukan pasang surut sangat kompleks, tetapi masih dapat dihitung dan diprediksi. Fenomena Pasang surut sangat periodik tetapi dapat diprediksi. Untuk

memprediksi pasang surut, diperlukan data tentang amplitudo dan perbedaan fasa dari masing-masing komponen pembangkit pasang surut (Surinati, 2007).

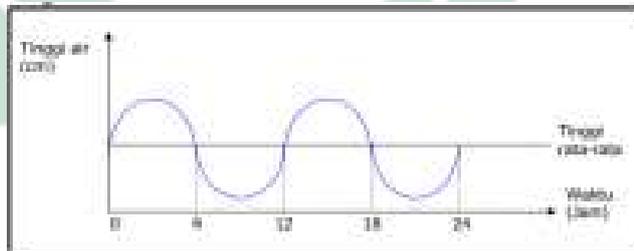
Tipe Pasang Surut, Terdapat 4 tipe atau jenis pasang surut yang dapat diketahui sebagai berikut (Dronkers, 1967) :

1. Pasang surut **Diurnal** adalah apabila dalam 1 hari terjadi 1 kali pasang dan 1 kali surut. Secara garis besar tipe diurnal ini terjadi pada wilayah yang di lewati atau pada wilayah garis katulistiwa.



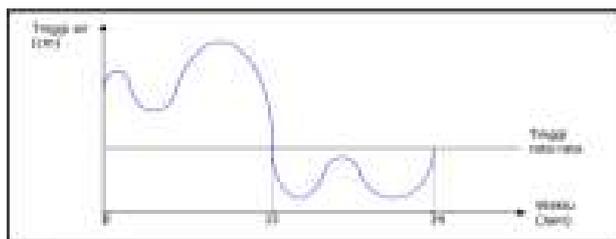
Gambar 2. 3. Pola Gerak Pasut Harian Tunggal (*Diurnal tide*)

2. Pasang surut **Semi Diurnal** yaitu apabila dalam satu hari mengalami 2 kali pasang dan 2 kali surut yang memiliki tinggi hampir sama.



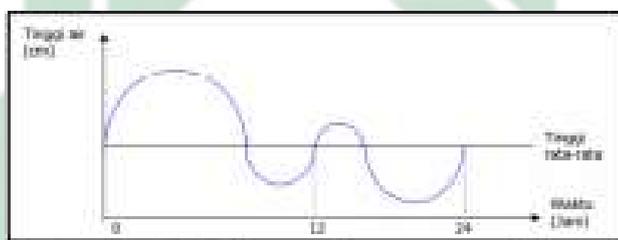
Gambar 2. 4. Pola Gerak Pasut Harian Ganda (*Semi diurnal tide*)

3. Pasang surut **Campuran** merupakan gabungan dari diurnal dan semi diurnal, bila bulan melintasi katulistiwa (deklinasi kecil), pasutnya bertipe semi diurnal, dan jika (deklinasi besar) membentuk pasang surut diurnal.



Gambar 2. 5. Pola Gerak Pasut Campuran Condong ke Harian Ganda (*Mixed tide prevailing semi diurnal*)

4. Pasang surut **Campuran Condong Diurnal** yaitu 1 hari terjadi pasang dan 1 hari terjadi surut, namun biasanya dapat terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dengan tinggi dan rentang waktu yang sangat berbeda.



Gambar 2. 6. Pola Gerak Pasut Condong ke Harian Tunggal (*Mixed tide prevailing diurnal*)

Jenis pasang surut ditentukan melalui frekuensi pasang surut air laut pada setiap harinya. Perihal tersebut karena adanya variasi di dalam reaksi setiap daerah terhadap energi pembangkit pasut. Secara kuantitatif, jenis air pasang dapat ditentukan melalui penilaian antara amplitudo detail pasut utama dan amplitudo detail pasang surut prinsip ganda. Rasio ini disebut bilangan Formzahl. Tipe pasang surut pada suatu perairan nantinya akan diketahui dengan hasil perhitungan bilangan formzahl. Adapun perhitungan tipe pasang surut menggunakan persamaan formzahl, yaitu (Korto, 2015) :

$$F = \frac{A(K1)+A(O1)}{A(M2)+A(S2)}$$

2.6

Keterangan :

F = Bilangan formzahl

O1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama akibat gaya tarik bulan

K1 = Amplitudo komponen pasut tunggal utama akibat gaya tarik surya

M2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama akibat gaya tarik bulan

S_2 = Amplitudo komponen pasut ganda utama akibat gaya tarik surya

Jika hasil sudah ditemukan maka dapat melanjutkan ke tahap berikutnya yaitu penentuan tipe pasang surut. Dengan pengelompokan seperti berikut :

1. Pasang surut harian tunggal $F > 3$
2. Pasang surut harian ganda jika $F \leq 0.25$
3. Pasang surut campuran dominan ganda jika $0.25 < F \leq 1.5$
4. Pasang surut campuran dominan tunggal jika $1.5 < F \leq 3$

Mengingat bahwa elevasi di laut terus berubah dari waktu ke waktu, sangat penting untuk menentukan elevasi berdasarkan data pasang surut, adapun istilah-istilah elevasi yang dapat digunakan sebagai acuan. Elevasi muka air laut terencana sangat dibutuhkan dimana hal ini dapat digunakan sebagai penentu besar kecilnya suatu bangunan yang berada di lepas pantai, jika pasang surut relatif kecil maka bangunan yang di buat tidak terlampaui tinggi atau besar, akan tetapi jika pasang surut disuatu perairan relatif tinggi , maka yang terjadi bangunan lepas pantai akan disesuaikan dan kemungkinan konstruksi dari bangunan lepas pantai tersebut juga akan menjadi sangat besar. Elevasi ada beberapa macam menurut (Korto, 2015) :

1. Muka air tinggi (*High Water Level/HWL*) yaitu muka air tertinggi yang diperoleh dari satu peredaran pasang surut.
2. Muka air rendah (*Low Water Level/LWL*) adalah muka air terendah yang diperoleh dari satu peredaran pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*Mean High Water Level/MHWL*) adalah rata-rata dari muka air tinggi selama rentang waktu 19 tahun.
4. Muka air rendah rerata (*Mean Low Water Level*) adalah rata-rata dari muka air rendah sepanjang rentang waktu 19 tahun.

5. Muka air laut rerata (*Mean Sea Level/MSL*) yaitu hasil yang diperoleh dari MSL rendah dan tinggi yang kemudian digunakan untuk acuan elevasi di darat.
6. Muka air tinggi tertinggi (*Highest High Water Level/HHWL*) adalah posisi air tertinggi pasang surut yang terjadi saat purnama.
7. Muka air rendah terendah (*Lowest low Water Level/LLWL*) merupakan posisi air terendah pasang surut yang terjadi pada saat purnama.
8. *Higher High Water Level*(HHWL) yaitu air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, yang terjadi seperti dalam pasang surut tipe campuran.
9. *Lower Low Water Level* (LLWL), merupakan air terendah yang terjadi dalam kurun 1 hari.

Komponen-komponen pasang surut yang tertulis dalam karya (Poerbondono & Djunasjah, 2005) dikelompokkan dalam **Tabel 2. 1** yang disajikan dibawah ini :

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 2. 1. Komponen-Komponen Pasang Surut

Spesies	Komponen	Periode (Jam)	Fenomena
Semi Diurnal	M_2	12.45	Gravitasi bulan sejajar dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	S_2	12.00	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N_2	12.66	Perubahan jarak bulan ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
	K_2	11.97	Perubahan jarak matahari ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
Diurnal	K_1	32.93	Deklinasi sistem bulan dan matahari
	O_1	25.82	Deklinasi bulan
	P_1	21.07	Deklinasi matahari
Periode Panjang	M_r	327.86	Variasi setengah bulan
	M_m	661.30	Variasi bulanan
	S_{sa}	219.43	Variasi semi tahunan
Perairan Dangkal	$2SM_2$	11.61	Interaksi bulan dan matahari
	MNS_2	13.13	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak matahari akibat lintasan berbentuk elips
	MK_3	8.18	Interaksi bulan dengan matahari dengan perubahan jarak bulan akibat lintasan berbentuk elips
	M_4	6.21	2x kecepatan sudut M_2
	M_{S4}	2.20	Interaksi M_2 dan S_2

2.1.5 Sedimentasi

Sedimen pesisir terbentuk oleh aliran yang cepat dan terus menerus yang mampu mengubah bentuk garis pantai. Sedimen pantai dapat terjadi akibat erosi pantai itu sendiri, dari daratan yang terbawa ke pantai oleh sungai dan selat. Oleh karena itu, lebih mudah untuk mengalami proses sedimentasi di pantai dengan banyak muara. Selain itu, daerah yang gelombangnya tidak terlalu besar dapat mempercepat proses pengendapan/sedimentasi (Triatmodjo, 1996).

Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang diangkut melalui media air, es, dan angin. Pembentukan delta di muara merupakan proses sedimentasi yang dibawa oleh media air sungai (Usman, 2014). Menurut (Arbimusa, 2016) menyatakan bahwa dampak dari peristiwa sedimentasi dapat menyebabkan hal-hal di berbagai lokasi perairan antara lain sebagai berikut :

1. Pengendapan sedimen di sekitar kolam-kolam pelabuhan yang akan mengurangi volume efektif
2. Di sungai dapat menyebabkan pengendapan di dasar sungai yang dapat menyebabkan tingginya permukaan air, sehingga dapat berdampak banjir disekitar pemukiman area sungai
3. Pengendapan di hilir yang dapat mempersulit mengoperasikan estuari karena telah terjadi pembentukan pulau-pulau pasir.

Sedimen juga dapat terbentuk oleh erosi yang terjadi di luar sungai. Sedimen terperangkap di sungai karena naik dari hulu dan mengendap di selokan yang tenang atau sungai yang tersebar luas. Juga, saat aliran berkurang, sedimen yang mengendap secara bertahap terbawa lagi dan dasar sungai secara bertahap tenggelam. Berdasarkan (Fredose, 1992) seringkali pola transpor yang terjadi di kawasan pantai yaitu terdapat beberapa partikel. Mulai dari pasir, partikel yang sangat kecil(lumpur dan tanah liat), dan kerikil. Seperti yang disajikan pada **Tabel 2. 1** merupakan klasifikasi menurut ukuran butir.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Tabel 2. 2. Klasifikasi Ukuran Butiran Sedimen dalam Skala Wentworth
(Sumber : (Triatmodjo, 1996))

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

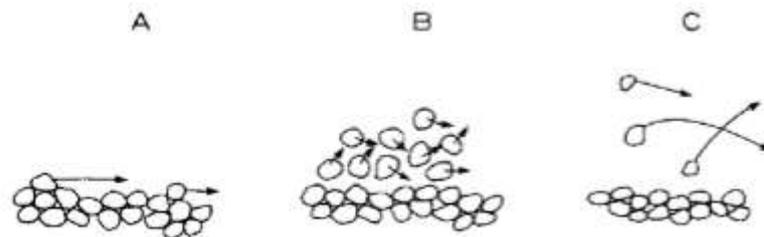
Laju sedimentasi dipengaruhi oleh beberapa karakteristik seperti ukuran, bentuk, densitas, viskositas, dan beberapa parameter lainnya seperti suhu. Ketika partikel sedimen jatuh ke dalam air yang tergenang, kecepatan konstan terjadi ketika gaya tarik ke atas (*drag force*) sama dengan berat partikel di dalam air (*Submerged weight*). Kecepatan konstan ini adalah kecepatan sedimentasi (CEM, 2002).

2.1.6 Mekanisme Transpor Sedimen

Transportasi sedimen secara fisik dipengaruhi oleh interaksi antara pasang surut, angin, arus laut, gelombang, jenis dan ukuran sedimen, serta keberadaan bangunan di wilayah pesisir. Secara umum dibagi menjadi tiga kelompok (Fredose, 1992). Mekanisme sedimen transpor di sungai, muara dan pantai, sangat berpengaruh. Pergerakan sedimen dapat menyebabkan terjadinya akresi dan erosi. Transpor sedimen merupakan pergerakan sedimen yang disebabkan oleh gelombang dan arus laut (Triatmodjo, 2016). Adapun pembagian tiga mekanisme transportasi sedimen yang di jelaskan oleh (Fredose, 1992), yaitu :

1. *Suspended load*, atau transportasi sedimen kohesif, adalah laju sedimen yang tidak melibatkan pergerakan tanah yang konstan. Ukuran partikel dari muatan yang tersuspensi bertekstur halus dan mengapung serta bergerak dalam aliran yang disebabkan oleh turbulensi. Pada mekanisme transpor sedimen ini cenderung terjadi pada arus lambat karena ukuran deposit yang kecil. Sedimen ini pada umumnya lempung dan lumpur.
2. *Bed load*, atau transportasi sedimen non-kohesif, adalah pergerakan sedimen yang melibatkan pergerakan dengan kontak langsung dengan dasar perairan. Kekuatan pendorong *bed load* merupakan ketahanan lapisan dasar sungai. Pembentukan *bed load* yang dominan pada aliran sedimen yaitu berukuran besar dan lambat didalam proses transportasinya. Pergerakan dalam mekanisme transpor sedimen ini yaitu dapat bergerak secara menggelinding, bergeser, atau meloncat. Namun, mekanisme *bed load* tidak pernah terlepas dari dasar perairan dalam kurun waktu yang lama.
3. Mekanisme yang terakhir yaitu *wash load*, mekanisme transpor sedimen ini yaitu terdiri dari partikel yang tidak memiliki komposisi dasar dan memiliki tekstur atau permukaan yang halus. Walaupun endapan ini melimpah dibandingkan dengan jenis lainnya, namun pengaruhnya kecil terhadap karakteristik sungai. Endapan ini timbul dari proses pelapukan bantaran sungai, terutama ketika telah memasuki

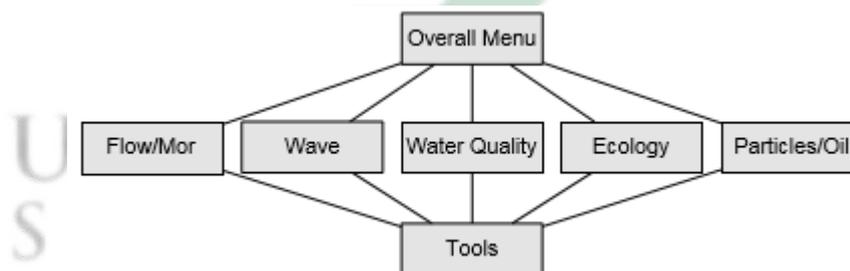
musim kemarau. Didalam mekanisme ini material diangkut dalam aliran kecepatan yang relatif tinggi dan cepat, material yang dibawa oleh aliran akan mengalami lompatan karena gaya dorong pada material.



Gambar 2. 7. Macam-Macam Mekanisme Transpor Sedimen
 A : *Bed Load*, B : *Wash Load*, C : *Suspended Load*
 (Sumber : (Fredose, 1992))

2.1.7 Program Delft3D

Delft3D adalah perangkat lunak untuk melakukan pemodelan numerik 3 dimensi wilayah pesisir, sungai dan muara. Dalam pemodelannya, Delft3D mensimulasikan area tertentu seperti aliran, aliran sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan morfologi dan ekologi. Delft3D dapat menautkan modul untuk bertukar hasil dengan data yang diperlukan untuk memverifikasi model dengan formulasi sesuai dengan modul yang dibutuhkan dengan proses running (Delft3D, 2020).



Gambar 2. 8. Arsitektur Sistem Delft3D

Proses dasar yang dicakup oleh setiap modul Delft3D adalah sebagai berikut (Delft3D, 2020) :

1. Delft3D-FLOW-MOR 2 dan 3 dimensi dapat difungsikan untuk memodelkan secara numerik terkait kondisi hidrodinamika seperti salinitas, temeperatur, transpor sedimen dan perubahan morfologi dasar di wilayah pantai.

2. Delft3D-WAVE merupakan modul Delft3D yang menyediakan perambatan gelombang, pembangkitan gelombang angin, interaksi gelombang ke gelombang non-linier, dan topografi dasar laut tertentu, medan angin, ketinggian air, dan arus di kedalaman air yang sedang, besar, dan terbatas.
3. Delft3D-WAQ dapat digunakan untuk memodelan kualitas air dan merupakan alat yang terbukti dan diterima untuk mendukung pengelolaan kualitas air dan pengelolaan air terpadu. Model kualitas air memiliki satu atau lebih variabel keadaan, polutan, atau zat yang masuk ke area model melalui batas model atau aliran masuk lateral.
4. Delft-3D-ECO, Pada pemodelan ekologi ini menyediakan eutrofikasi secara kompleks dan dapat memodelkan organisme dan ekosistem
5. Delft3D-WAQ PART menyajikan pemodelan numerik untuk menganalisis pergerakan partikel sekaligus kualitas perairan serta dapat juga untuk memodelkan wilayah perairan yang tercemar oleh minyak.

Aplikasi Delft3D adalah aplikasi open source yang dikembangkan di University of Delft. Teknologi Belanda, aplikasi ini digunakan untuk pemodelan 2D atau 3D hidrodinamik lepas Pantai. Modul Delft3D-flow digunakan dalam penelitian ini. Dasar Delft3D-FLOW memperkirakan aliran yang tidak stabil (*Unsteady flow*) dan Fenomena transportasi sebagai akibat dari pasang surut dan kekuatan eksternal (Meteorologi). Tujuannya adalah untuk mensimulasikan pasang surut dan arah angin dalam 2D atau 3D dengan memecahkan persamaan aliran di perairan dangkal (SWE). Dengan pendekatan ini Persamaan momentum vertikal diubah menjadi hubungan tekanan hidrostatis. Kecepatan Arah vertikal dianggap sangat kecil dibandingkan dengan percepatan gravitasi, Termasuk dalam persamaan ini. Persamaan momentum untuk arah x dan y adalah sebagai berikut (Alfarisi & Suciaty, 2021) :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - f v + \frac{\tau b x}{\rho w(d+\eta)} - \frac{F x}{\rho w(d+\eta)} - v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0$$

2.7

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} - fu + \frac{\tau_{by}}{\rho w(d+\eta)} - \frac{F_y}{\rho w(d+\eta)} - v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0$$

2.8

Tegangan geser 2D dapat dihitung menggunakan persamaan lain, tegangan dasar dalam arah x dan y yang disebabkan oleh turbulensi aliran ditentukan dengan menggunakan persamaan gesekan kuadratik :

$$\tau_{bx} = \rho w g \left(\frac{U|u|}{c^2} \right)$$

2.9

$$\tau_{by} = \rho w g \left(\frac{U|v|}{c^2} \right)$$

2.10

Keterangan :

- d = Kedalaman air dibawah garis reference (m)
- f = parameter *coriolis* (1/s)
- u, v = Kecepatan rata-rata (m/s)
- ρw = Massa jenis air (Kg/m³)
- F_{x, y} = gaya arah x dan y (N/m²)
- U = Total Kecepatan, $U = (u^2 + v^2)^{1/2}$; (m/s)
- η = ketinggian air di atas garis reference (m)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- $\tau_{bx, y}$ = Komponen arah x dan y *bed shear stress* (N/m²)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

1. Modul Hydro-Morphodynamics

- **Kondisi Aliran**

Deltares telah mengembangkan perangkat lunak komputer yang terintegrasi penuh untuk pendekatan interdisipliner ke daerah pesisir, sungai dan muara dan komputasi 3D. Program Delft3D terdiri dari beberapa modul yang dijelaskan seperti pada **Gambar 2. 8** yang dikelompokkan di sekitar antarmuka umum dengan memungkinkan interaksi. Delft3DFLOW, subjek dari pengguna manual ini merupakan

salah satu dari modul ini. Delft3D-FLOW adalah program simulasi dinamika fluida (dan transportasi) multidimensi (2D atau 3D) yang menghitung fenomena aliran dan transportasi transien yang dihasilkan dari aktivitas pasang surut dan meteorologi pada grid pemasangan batas lurus atau melengkung. Dalam simulasi 3D, grid vertikal didefinisikan menggunakan pendekatan koordinat sigma (FLOW, 2020).

Metode aliran pada Delft 3D didasarkan pada *finite differences*. Untuk mendiskritisasi persamaan aliran air dangkal, maka area model akan ditutup oleh garis lengkung (grid), dengan asumsi grid orthogonal dan terstruktur dengan baik. Terkait diskritisasi persamaan air dangkal, maka variabel tersebut diatur khusus di dalam grid yang mana kondisi ketinggian air didefinisikan berada pada tengah sel, sementara kecepatan didefinisikan tegak lurus dari posisi tiap grid sel. Grid yang digunakan juga dinamakan σ -coordinate system. Dasar persamaan aliran yang digunakan adalah persamaan *Navier Stokes* untuk *incompressible fluid* pada perairan dangkal serta asumsi *Boussinesq*. Pada persamaan momentum arah vertikal, percepatan vertikal ditiadakan, yang mengarah ke persamaan tekanan hidrostatik

Dalam Delft3D-Flow, persamaan kontinuitas dari persamaan pengatur dan hukum kekekalan momentum berlaku untuk semua komponen dalam Delft3D. Persamaan kontinuitas yang digunakan memiliki empat komponen yaitu perubahan massa pada sumbu z, perubahan massa sumbu x, perubahan massa sumbu y, dan perubahan massa sistem. Persamaan kontinuitas ditunjukkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial((d+\zeta)U\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}\sqrt{G_{\eta\eta}}}} \frac{\partial((d+\zeta)V\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q$$

2.11

Sedangkan persamaan kekekalan momentum yang digunakan dalam modul delft3d-flow yaitu disajikan seperti pada persamaan 2.12 dibawah.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial t} \\ \frac{\partial v}{\partial t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{u}{\sqrt{G\xi\xi}} \frac{\partial u}{\partial \xi} - \frac{uv}{\sqrt{G\xi\xi}\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial \sqrt{G\xi\xi}}{\partial \eta} \\ -\frac{v}{\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial v}{\partial \eta} - \frac{uv}{\sqrt{G\xi\xi}\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial \sqrt{G\eta\eta}}{\partial \xi} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -\frac{v}{\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial u}{\partial \eta} - \frac{v^2}{\sqrt{G\xi\xi}\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial \sqrt{G\eta\eta}}{\partial \xi} \\ -\frac{u}{\sqrt{G\xi\xi}} \frac{\partial v}{\partial \xi} - \frac{u^2}{\sqrt{G\xi\xi}\sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial \sqrt{G\xi\xi}}{\partial \eta} \end{bmatrix} \\
&+ \begin{bmatrix} -\frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \\ -\frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} fv \\ -fu \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G\xi\xi}} P\xi \\ -\frac{1}{\rho_0\sqrt{G\eta\eta}} P\eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F\xi \\ F\eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Vv \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) \\ \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(Vv \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) \end{bmatrix} + \\
&\quad \begin{bmatrix} M\xi \\ M\eta \end{bmatrix} \quad 2.12
\end{aligned}$$

Persamaan kekekalan momentum diatas terdiri dari 9 komponen yang memiliki arti persamaan yang berbeda-beda, adapun secara berturut-turut dari kiri atas dalam istilah abjad komponen yang menyusun persamaan momentum diatas adalah sebagai berikut.

- Komponen A mendefinisikan percepatan internal sistem
- Komponen B merupakan percepatan yang diakibatkan oleh transportasi yang searah dengan sumbu tinjauan
- Komponen C mendefinisikan percepatan akibat transportasi lateral terhadap sumbu tinjauan
- Komponen D adalah percepatan akibat adveksi vertikal
- Komponen E merupakan percepatan yang terjadi akibat pengaruh gaya koriolis
- Komponen F mendefinisikan percepatan akibat gradient tekanan barotropik dan tekanan baroklinik
- Komponen G adalah percepatan yang diakibatkan oleh viskositas
- Komponen H mendefinisikan percepatan akibat momentum dari difusi vertikal

- Komponen I merupakan percepatan yang diakibatkan momentum gaya eksternal tambahan seperti struktur terapung, debit sungai, struktur pengamanan pantai dan lain sebagainya.

Keterangan :

- ξ, η, σ = Posisi pada sumbu x, y, dan z (m)
- u, v, w = Kecepatan partikel sumbu x, y, z (m/s)
- f_u dan f_v = Faktor akibat gaya koriolis pada sumbu x dan y (m/s²)
- $\sqrt{G\xi\xi}$ & $\sqrt{G\eta\eta}$ = Lebar grid pada sumbu x dan y (m)
- $F\xi$ & $F\eta$ = Variabel percepatan dari momentum pada sumbu x dan y (m/s²)
- $P\xi$ & $P\eta$ = Gradient tekanan pada sumbu x dan y (Pascal)
- $M\xi$ & $M\eta$ = Variabel percepatan gaya eksternal pada sumbu x dan y (m/s²)
- V_v = Vertikal eddy viscosity (kg m/s)
- ζ = Elevasi muka air (m)
- t = waktu (detik)
- ρ_o = Massa jenis air (Kg/m³)
- d = Kedalaman perairan (m)
- Q = Debit per satuan luas (m/s)

• **Transport Sedimen**

Laju sedimen dan perubahan morfologi menerapkan sedimen dasar maupun melayang yang berhubungan dengan jenis sedimen. yaitu kohesif dan non kohesif sedimen. Terkait laju sedimen melayang dianalisis menggunakan persamaan berikut (Franto et al., 2013).

$$\frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial t} + \frac{\partial uc^{(\ell)}}{\partial x} + \frac{\partial vc^{(\ell)}}{\partial y} + \frac{\partial (w-ws^{(\ell)})c^{(\ell)}}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon_{s,x}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{s,y}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon_{s,z}^{(\ell)} \frac{\partial c^{(\ell)}}{\partial z} \right) = 0$$

2.13

Keterangan :

- $c^{(\ell)}$ = Konsentrasi massa dari fraksi sedimen
- ϵ = Difusi Turbulen dari fraksi sedimen
- W_s = Kecepatan jatuh fraksi sedimen

Efek sedimen pada berat jenis cairan menggunakan hubungan empiris yang diterangkan oleh (UNESCO, 1981) untuk mengatur berat jenis air.

Dalam pemodelan Delft3D-Hydrromorphodynamics nantinya akan dapat mengetahui perubahan ketebalan dasar di lokasi penelitian. Hasil output pemodelan nantinya dapat divisualisasikan menggunakan program QUICKPLOT guna mengetahui pola sebaran arus dan sedimentasi, kecepatan arus dan sedimen kohesif yang diidentifikasi yaitu ditentukan pada titik pengamatan yang kemudian disesuaikan dengan *Observation* dan *cross section* untuk mengetahui laju sebaran arus dan grafik *cumulative erosion or sedimentation*.

2.2 Integrasi Keilmuan

Beragam ilmu yang dianugerahkan kepada setiap manusia dimunculkan sekaligus terdapat eksistensi keindahan dari sang maha pencipta. Hamparan alam seperti panorama gunung, binatang dengan kekhasan cahaya diraut wajahnya, laut dengan cantik warnanya dan lain sebagainya yang semua itu merupakan bukan ciptaan yang tidak seimbang. Allah SWT menciptakan manusia dalam keadaan yang sempurna yang memiliki akal dan hawa nafsu. Oleh karenanya sebisa mungkin manusia lebih banyak bersyukur serta menjaga keseimbangan dari apa yang telah di anugerahkan.

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَّا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفْوُتٍ
فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى مِن فُطُورٍ

Artinya : Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat?

Menurut tafsir yang disampaikan oleh Kemenag RI terkait ayat 3-4 pada Al-Qur'an surah Al-Mulk menyampaika bahwa kekuatan Tuhan YME untuk menciptakan hidup dan mati terkait dengan kekuatan Tuhan untuk menciptakan alam semesta. Ini menciptakan tujuh lapisan surga dalam harmoni dan harmoni yang sempurna. Dalam ciptaan Tuhan yang paling baik hati, belas kasih itu mencakup semua bentuk baik dalam ciptaan kecilnya

maupun ciptaannya yang besar, Anda melihat rasa malu atau ketidaksempurnaan yang tidak proporsional. Tidak ada. Jadi apakah Anda merenungkan dan melihat lagi dan lagi, dan kemudian melihat atau menemukan sesuatu yang rusak atau retak?

وَهُوَ الَّذِي مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هَذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَهَذَا مِلْحٌ
أَجَاجٌ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَحِجْرًا مَّحْجُورًا

Artinya : Dan Dialah yang membiarkan dua laut mengalir (berdampingan), yang ini tawar dan segar dan yang lain sangat asin lagi pahit, dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus.

Berdasarkan tafsir Quraish Shihab terkait ayat 52 -53 pada Al-Quran surah Furqon menjelaskan bahwa Allah telah memberikan suatu kenikmatan kepada manusia, yaitu berupa tidak bercampurnya air asin yang mengalir dari lautan ke batu-batuan dekat pantai dengan air tawar yang mengalir ke laut dari daratan.

Penambahan struktur bangunan pemecah gelombang merupakan aktivitas yang dapat membantu menyeimbangkan kegiatan operasional yang dilakukan disekitar pelabuhan perikanan. Namun disisi lain pembangunan *breakwater* tersebut juga menyebabkan hilangnya habitat ikan, keruhnya air disekitar pembangunan.

2.3 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian – penelitian terdahulu merupakan suatu kaidah pembelajaran bagi peneliti untuk memunculkan ide, argumentasi, wawasan, bahkan dapat menjernihkan dalam menyelesaikan penelitian yang hendak dilaksanakan. Berikut merupakan penelitian – penelitian terdahulu yang penulis jadikan referensi dalam proses penyelesaian tugas akhir yaitu pada **Tabel 2. 3** berikut.

Tabel 2. 3. Penelitian Terdahulu

No	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Perbandingan
1.	Analisis Sedimentasi Laguna Segara Anakan dengan Pemodelan Numerik Angkutan Sedimen Kohesif (Hakiki et al., 2021)	Tujuan dari penelitian tersebut ialah untuk mengetahui pola sebaran sedimen dan titik-titik yang mengalami pengendapan di Laguna Segara Anakan	Pengendapan sedimen di lokasi tersebut disimulasikan dengan model numerik MIKE21 yang mengacu modul hidrodinamik dan angkutan lumpur. Pemodelan Hidrodinamik dibangun dengan syarat batas pasut di laut dan syarat batas debit di kondisi sungai. Pemodelan ini menggunakan data batimetri dari Balai Litbang Pantai 2016 dikombinasikan dengan GEBCO dengan resolusi 1 km di ekuator	Pemodelan Sedimentasi yang menggunakan perangkat lunak MIKE21 menghasilkan model sedimentasi di Laguna Segara Anakan di akibatkan oleh asimetri kecepatan aliran pasut, pengendapan terbanyak terjadi pada wilayah delta dengan nilai 0,6 m, dan rata-ratanya berkisar 0,16 m.	Penelitian Hakiki menggunakan modul Hidrodinamik (HD) dengan MIKE21. Sedangkan penelitian yang dilakukan penulis menggunakan modul Hydro-Morphodynamics dengan Delft3D
2.	Analisa Pendangkalan Jalur Pelayaran Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D (Studi Kasus : Perairan Pelabuhan PT Petrokimia Gresik) (Rohman, 2021)	Tujuan dari penelitian tersebut ialah untuk menunjukkan gambaran tentang pola arus, perubahan kedalaman, dan kecepatan sedimentasi di perairan Pelabuhan PT Petrokimia Gresik	Metode pemodelan Pendangkalan Jalur Pelayaran menggunakan model numerik Hidrodinamika 3D Mike21 dengan menginput parameter waktu, angin, pasang surut, river discharge dan kedalaman laut mesh yang telah dibentuk. Metode yang digunakan untuk mencari solusi dari persamaan perairan dangkal ialah <i>low order</i> dan <i>fast algoritm</i> .	Hasil pemodelan hidrodinamika secara numerik tentang pola arus dan sedimentasi didapatkan hasil pertambahan kedalaman sebesar 0,640 m dengan dominan 0,080 m. Mengalami rata-rata perubahan kedalaman sebesar 0,055 m, memiliki kecepatan perubahan kedalaman sebesar 0,030 m/hari dengan rata-rata kecepatan perubahan kedalaman sebesar 0,002 m/hari. Akumulasi dalam	Penelitian yang dilakukan oleh Rohman menggunakan modul hidrodinamika 3D MIKE21 yang menganalisis pendangkalan jalur pelayaran. Sedangkan penelitian penulis meneliti terkait pola sebaran arus dan sedimentasi yang terjadi pada kolam PPN Brondong dengan Delft3D

No	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Perbandingan
				sebulan didapatkan kecepatan perubahan kedalaman sebesar 0,060.	
3.	From Ripples to Large-Scale Sand Transport: The Effects of Bedform-Related Roughness on Hydrodynamics and Sediment Transport Patterns in Delft3D (Brakenhoff et al., 2020)	Tujuan dari penelitian tersebut yaitu untuk menguji dan mengukur tingkat kekasaran ripple dan megaripple untuk perhitungan hidrodinamika dan transpor sedimen dalam model morfodinamika numerik Delft3D	Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan beban tersuspensi yaitu dengan menyelesaikan persamaan adveksi dan difusi pada kedalaman rata-rata(2DH). Konsentrasi keseimbangan rata-rata kedalaman yang digunakan untuk menghitung pertukaran sedimen antara dasar dan kolom air diselesaikan dengan metode Van Rijn	Hasil dari perbandingan skenario model ditemukan bahwa kekasaran terkait ripple dan megaripple mempengaruhi kecepatan arus rata-rata kedalaman, terutama di daerah delta yang dangkal. Ripple dalam skala kecil juga penting untuk pengangkutan sedimen bebam tersuspensi, sementara besaran aeus berubah 10-20% melalui perubahan kekasaran bentuk dasar.	Penelitian yang dilakukan oleh Brakenhoff lebih menjurus kepada butiran sedimen yang ada di wilayah tersebut. Sedangkan penelitian yang penulis lakukan yaitu menganalisis terkait dampak sedimentasi pada kondisi eksisting dan pra pembangunan <i>breakwater</i> .
4.	Pemodelan Aliran Sedimen di Kolam Pelabuhan (Studi Kasus : Kolam 1 Pelabuhan Tanjungpriok, Jakarta) (Witantono, 2015)	Tujuan dari penelitian tersebut ialah untuk menganalisis pola penyebaran transpor material sedimen di lokasi rencana pengerukan dengan simulasi model transpor material sedimen	Metode yang digunakan untuk memodelkan sebaran sedimentasi pada penelitian tersebut menggunakan modul transpor material sedimen, dengan data-data yang dimasukkan antara lain : Pasut, sampel sedimen, peta batimetri kolam pelabuhan, dan data Peta RBI Tanjungpriok	Hasil dari simulasi pola penyebaran transpor sedimen yaitu, arus saat pasang sebesar 0,008-0,056 m/s. Arus pada kondisi surut sebesar 0,004-0,52 m/s. Besar konsentrasi sedimen saat pasang maksimal sebesar 0,0325 g/m ³ dan minimal sebesar 0,0025 g/m ³ . Sedangkan konsentrasi sedimen saat kondisi surut nilai maksimalnya sebesar 0,104 g/m ³ dan minimal sebesar 0,008 g/m ³ .	Penelitian yang dilakukan oleh Witantono menggunakan software MIKE21 yang menganalisis pola sebaran arus dan konsentrasi sedimen. Sedangkan Penelitian yang penulis hendak lakukan yaitu tentang pola sebaran arus dan juga laju sebaran sedimen di area kolam PPN Brondong Lamongan

No	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Perbandingan
5.	Pemodelan Sedimen Transpor dan Morfologi Perairan Ujung Pangkah (Husna, 2018)	Mengetahui laju sedimen transpor dan perubahan morfologi akibat sedimentasi dan abrasi	Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut menggunakan modul <i>Hydro-morphodynamic</i> dan <i>Wave Standalone</i> . Validasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode MAPE (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>) untuk pasang surutnya	Hasil dari penelitian dari Husna yaitu memperoleh Laju sedimentasi pada area barat cukup tinggi yang diakibatkan oleh arus menuju ke pantai, berbanding terbalik dengan dari arah timur. Laju tertinggi sedimentasi ada pada area 10 yaitu 267,831 m ³ /bulan dengan luas area sebesar 342.383 m ² . Perubahan morfologi terbesar terjadi di area cross section 4, karena telah terjadi penambahan sedimen sebesar 6.000 m ³ di akhir simulasi.	Pemodelan transpor sedimen yang dilakukan oleh Husna merupakan pemodelan yang menggabungkan antara modul flow dan wave dengan kalibrasi pasang surut dengan MAPE (<i>Mean Absolute Percentage Error</i>), sekaligus mengetahui perubahan morfologi di area penampang melintang yang digunakan untuk menyimpan jumlah fluks. Sedangkan penulis meneliti terkait pola sebaran arus dan sedimen yang terjadi di wilayah kolam pelabuhan dengan area luasan yang telah ditentukan, yang nantinya mengetahui <i>Current Viscosity</i> (m/s) dan laju sebaran sedimen di setiap wilayah yang telah dibagi.
6.	The Impact of Submerged <i>Breakwaters</i> on Sediment Distribution along Marsh Boundaries(Vona et al., 2020)	Tujuan yang dilakukan oleh penelitian Vona diketahui bahwa apa pengaruh efek pemecah gelombang pada sebaran sedimen di sepanjang batas rawa yang dipengaruhi oleh gelombang dan pasang surut	Menggunakan metode formulasi dua dimensi dari modul hidrodinamik dan morfodinamik meliputi data sedimen, gelombang, pasang surut, kemiringan cekungan dan jarak pemecah gelombang ke garis pantai	Pemecah gelombang cenderung menutup endapan yang ada di sisi belakang <i>breakwater</i> , menghalangi transport padat dan menciptakan struktur morfodinamika yang dikenal sebagai salients dan tombolo. Tegangan geser di rawa asin	Terdapat sedikit perbedaan yang dapat diamati dalam penelitian yang dilakukan oleh Vona dengan penelitian penulis, penelitian Vona mensimulasikan transpor sedimen yang ditinjau dari aktivitas pasut dan gelombang tanpa menampilkan hasil dari

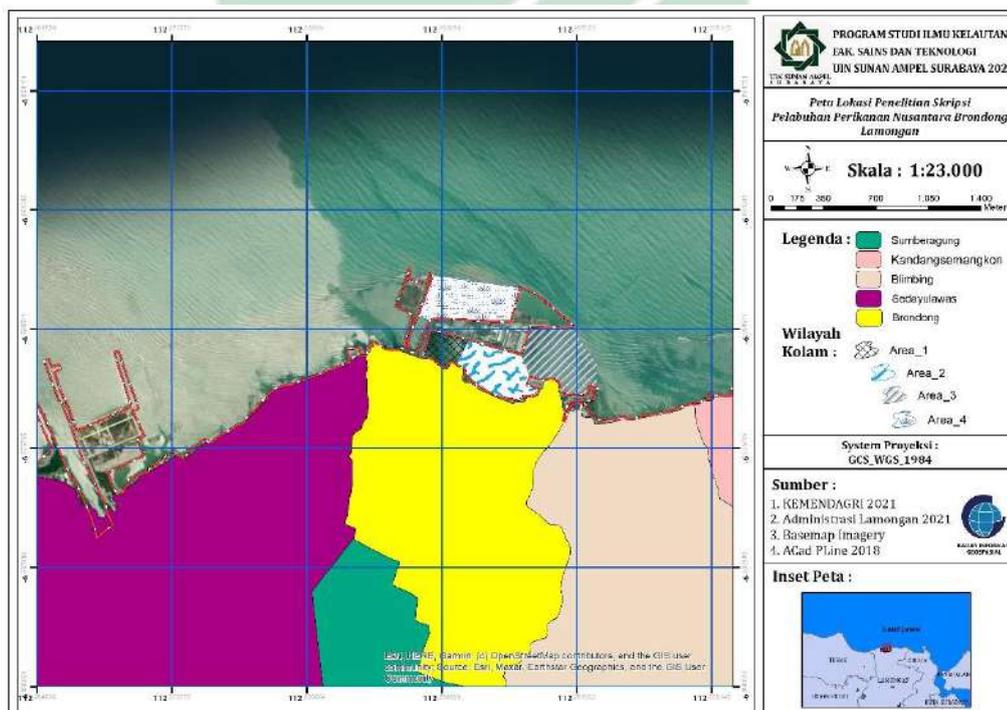
No	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Perbandingan
				da volume sedimen yang diendapkan dalam akhir simulasi meningkat rata-rata 20-40%, nilai tersebut sebanding dengan kemiringan jarak pemecah gelombang dari garis pantai	simulasi sebaran arus yang terjadi. Sedangkan penelitian penulis nantinya akan mensimulasikan pola sebaran arus dan sedimen pra dan pasca pembangunan pemecah gelombang
7.	Numerical Study over the Effects of a Designed Submerged <i>Breakwater</i> on the Coastal Sediment Transport in the Pescara Harbour (Italy)(Gallerano et al., 2020)	Mengetahui simulasi model numerik tentang pengaruh desain pemecah gelombang terendam terhadap transportasi sedimen di Pelabuhan Pescara (Italia)	Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu hidrodinamik model dan morfodinamik model	Hasil penelitian dari Gallerano yaitu penghalang yang dirancang secara substansial tersebut dapat memodifikasi bidang hidrodinamik dan menyebabkan perubahan morfodinamika di zona yang dekat dengan Pelabuhan Pescara. Secara signifikan <i>breakwater</i> dapat mengurangi sedimentasi (A = 34.200 ³ B = 24.500 m ³ C = 22.500 m ³ disetiap tahunnya) area depan pintu masuk Pelabuhan Kanal	Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gallerano tidak menghitung laju sedimentasi, namun hanya menghitung volume sedimen pada tiap tahun di zona A,B dan C. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu mengetahui pola sebaran arus dan sedimentasi di 3 area kolam pra dan pasca pembangunan <i>breakwater</i> .

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

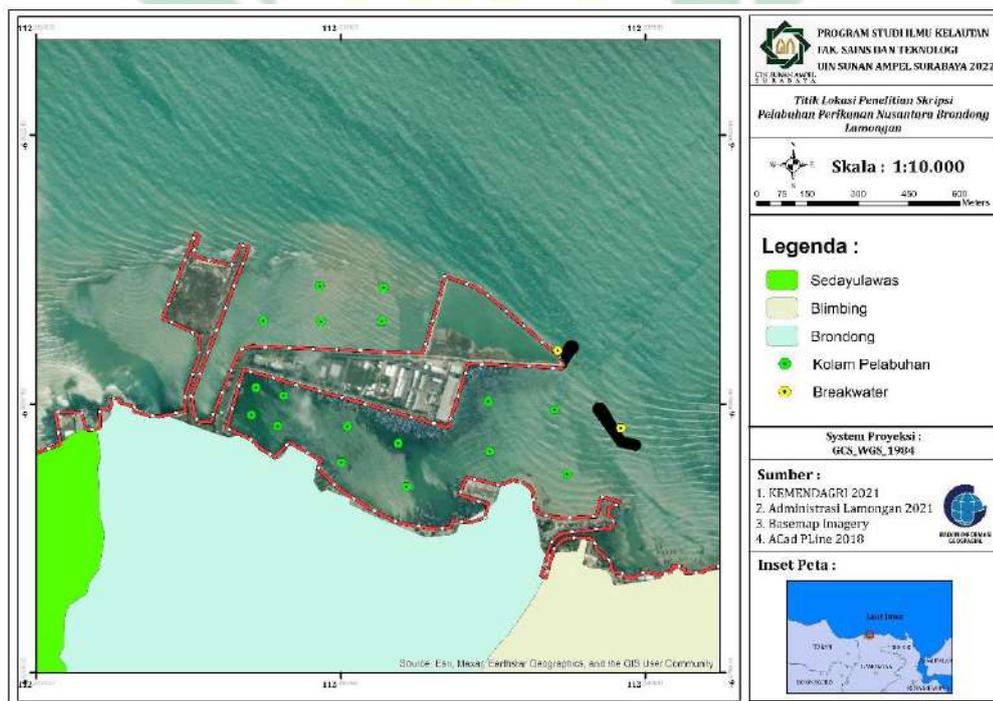
Lokasi penelitian yang dilakukan yaitu bertempat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan. Secara letak geografis lokasi penelitian berada pada titik koordinat 6°52'4.45"LS sampai 6°52'9.93"LS dan 112°17'15.81"BT sampai 112°17'57.65"BT dengan wilayah yang berada di sekitar aktivitas operasional dan manajerial PPN Brondong Lamongan, khususnya pada area kolam pelabuhan yang mengalami sedimentasi. Pembagian wilayah kolam yang terdapat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan dapat dilihat seperti pada **Gambar 3. 1.** Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan berbatasan dengan wilayah Desa sebagai berikut (Brahmana, 2020) :

1. Sebelah Selatan : Berbatasan dengan Desa Sumberagung
2. Sebelah Utara : Berbatasan dengan Laut Jawa
3. Sebelah Timur : Berbatasan dengan Desa Blimbing
4. Sebelah Barat : Berbatasan dengan Desa Sedayulawas



Gambar 3. 1. Peta Lokasi Penelitian

Penelitian pemodelan dengan metode *Hydro-Morphodynamics* (FLOW) dengan asumsi penyelesaian SWE (*Shallow Water Equation*) dengan menggunakan persamaan *Navier Stokes* yang bertempat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan pada kondisi eksisting dan pasca pembangunan *masterplan breakwater* yang dilakukan selama 1 bulan pada musim barat (01-01-2021 sampai 31-01-2021) dan pada musim timur (01-07-2021 sampai 31-07-2021) dengan menggunakan faktor skala morfologi masing-masing 6. Titik pengamatan yang di ambil pada penelitian kali ini yaitu sebanyak 19 titik yang berada di sekitar area kolam pelabuhan dan di sekitar perairan yang akan dibangun struktur *breakwater*. Titik-titik pengamatan yang telah ditentukan merupakan sebagai acuan supaya nantinya dapat diketahui apakah di wilayah tersebut terjadi sedimentasi atau erosi dengan hasil yang telah divisualisasikan dengan piranti lunak Delft3D sesuai dengan batasan-batasan yang telah ditentukan. Seperti yang ada pada **Gambar 3. 2** menunjukkan titik-titik observasi di PPN Brondong Lamongan.



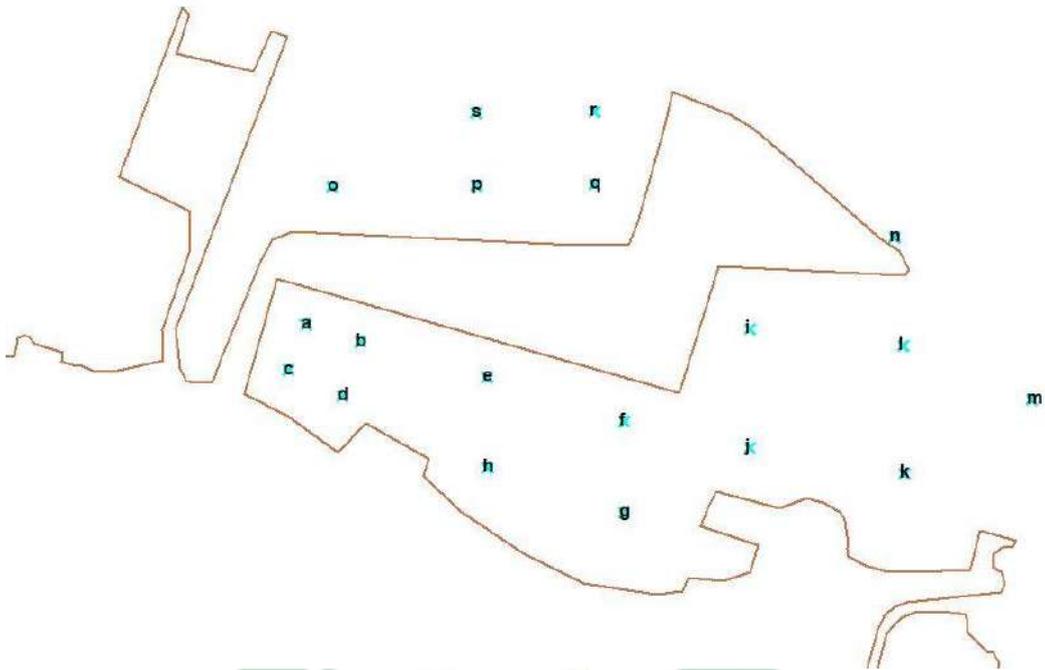
Gambar 3. 2. Peta Lokasi Titik Pengamatan

Berdasarkan Peta yang menunjukkan titik-titik pengamatan diatas. Terdapat 4 titik di area kolam 1 dengan luas sebesar 47267,68 m², 4 titik di area kolam 4 yang mempunyai luas sebesar 130094,13 m², 4 titik juga di area

kolam 3 dengan luas area sebesar 164423,42 m², 4 titik di area kolam 4 dengan luas area sebesar 159970,84 m² dan 2 titik berwarna kuning yang merupakan lokasi konstruksi struktur breakwater dengan panjang *breakwater* sisi utara 50 m dan 300 meter di sebelah timur.

Tabel 3. 1. Koordinat Titik Pengamatan

Titik Pengamatan	X	Y
Ta	112,28864354	-6,869002719
Tb	112,289386273	-6,869222920
Tc	112,288525261	-6,869738926
Td	112,289222269	-6,870038681
Te	112,291074204	-6,870044614
Tf	112,290906342	-6,871013824
Tg	112,29242708	-6,870493520
Th	112,292647003	-6,871657940
Ti	112,294821053	-6,869375383
Tj	112,296583237	-6,869598671
Tk	112,294852261	-6,870714399
Tl	112,296915281	-6,870714399
Tm	112,290338159	-6,866285424
Tn	112,292037701	-6,866335545
To	112,290374569	-6,867236645
Tp	112,291996968	-6,867228633
Tq	112,288842702	-6,867215405
Tr	112,298817469	-6,870073085
Ts	112,296511799	-6,867905001



Gambar 3. 3. Detail Titik Lokasi Pengamatan

3.2 Alat

Penelitian yang dilakukan membutuhkan peralatan-peralatan yang nantinya dapat membantu mengoptimalkan langkah kerja dalam pengolahan data, proses visualisasi numerik dan atau penyusunan laporan tugas akhir. Berikut yang tersaji pada **Tabel 3. 2** merupakan penjelasan alat beserta kegunaan alat tersebut.

Tabel 3. 2. Alat dan Fungsi dalam Penelitian

No.	Alat	Fungsi
1.	<i>Laptop/Komputer</i>	Berfungsi untuk mempermudah menyelesaikan tugas akhir
2.	<i>Alat Tulis</i>	Berfungsi untuk mencatat data
3.	<i>ArcGis 10.8</i>	Berfungsi untuk mendigitasi Peta dan memproyeksikan datum
4.	<i>MS.Exel</i>	Berfungsi untuk mengolah data angin dan prediksi pasang surut
5.	<i>AutoCad 2018</i>	Berfungsi untuk mengedit data <i>Masterplan Breakwater</i> dan menyesuaikan koordinat

No.	Alat	Fungsi
		dengan lokasi penelitian serta mengetahui luasan kolam pelabuhan
6.	<i>WRPlot</i>	Berfungsi untuk mengolah data kecepatan dan arah angin
7.	<i>Delft3D</i>	Berfungsi untuk memodelkan arus dan sedimentasi

3.3 Sumber Data

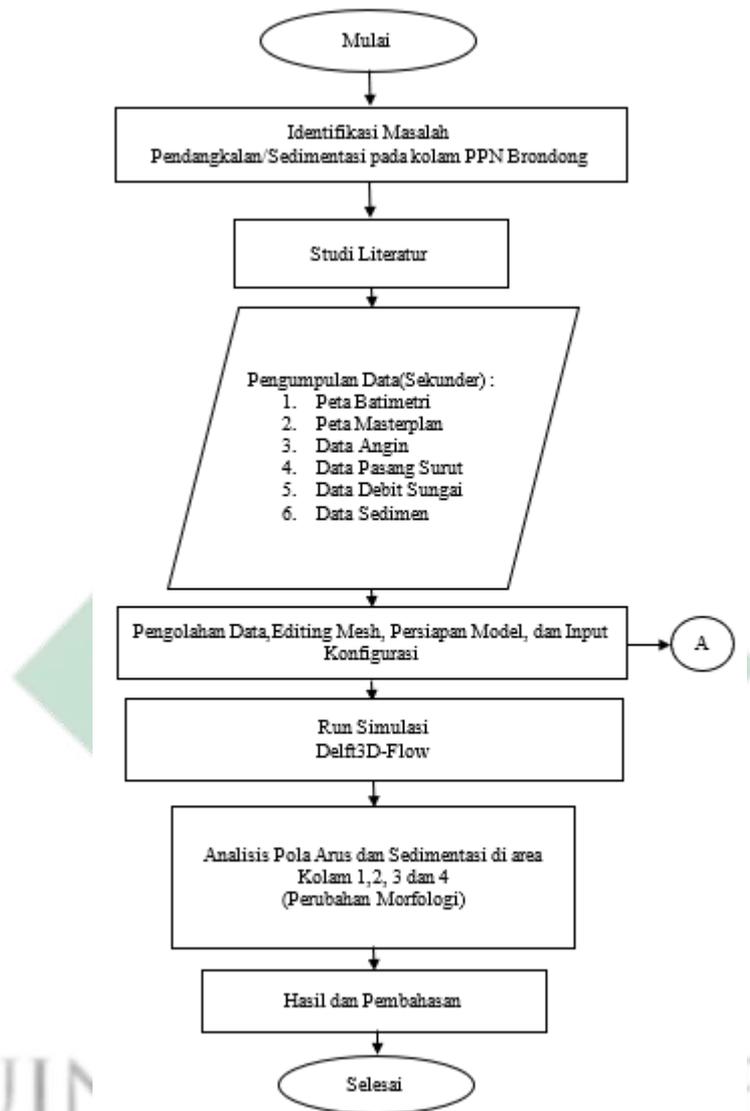
Berdasarkan aspek hidro-oseanografi dalam memodelkan pola laju sebaran arus dan sedimentasi di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan. Maka data-data yang diperlukan untuk di analisis dan di masukkan dalam software pemodelan numerik yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3. 3** sebagai berikut.

Tabel 3. 3. Data dan Sumber Penelitian

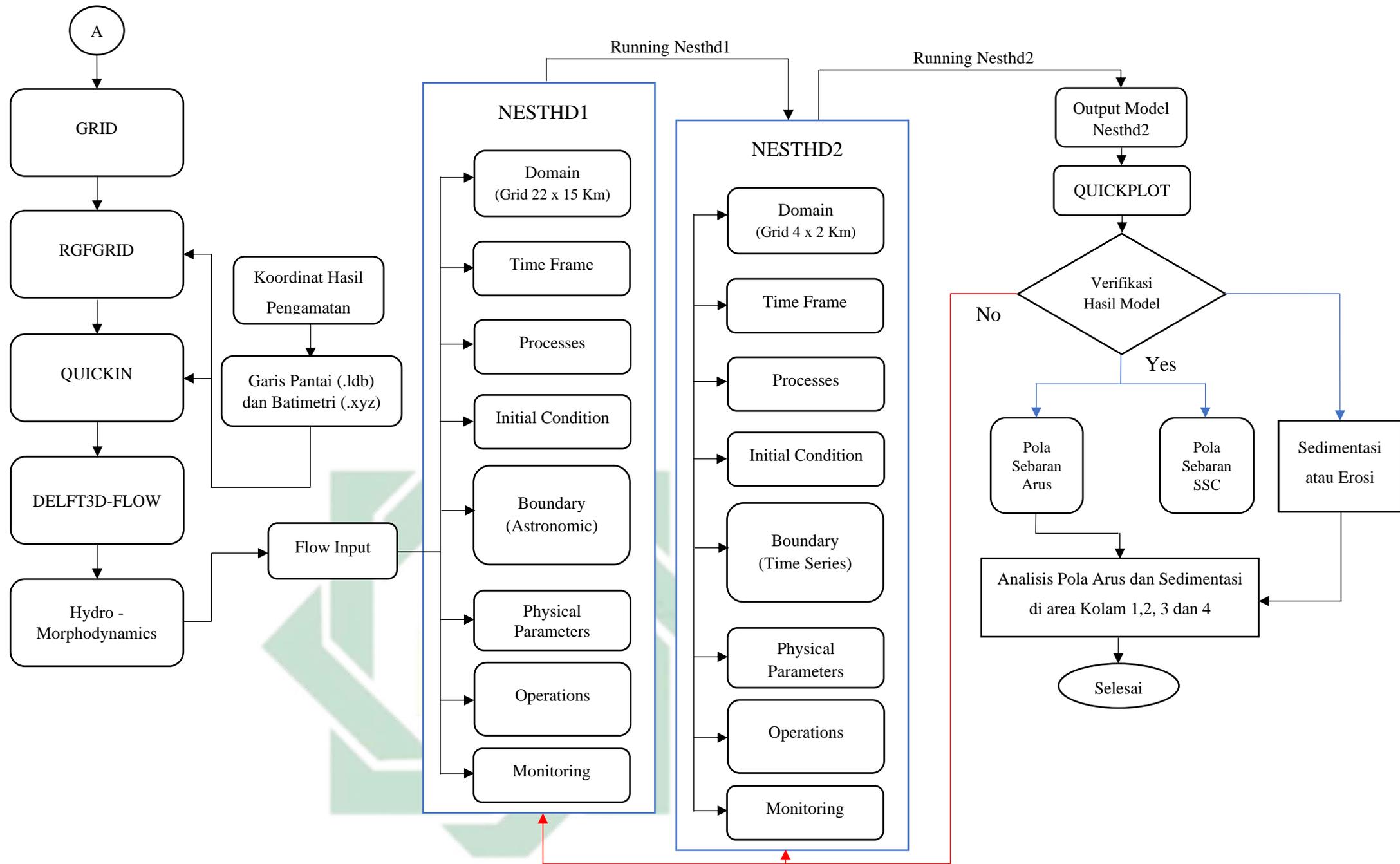
No.	Data	Sumber
1.	<i>Batimetri</i>	BATNAS 2021 dan PT Jaladri Prima Solusi
2.	<i>Data Pasang Surut</i>	BIG 2021
3.	<i>Data debit air sungai disekitar PPN Brondong Lamongan</i>	PUPR 2021
4.	<i>Peta Breakwater sisi utara dan timur panjang masing-masing 50m dan 300m</i>	PUPR 2021
5.	<i>Data Angin</i>	ECMWF 2017-2021
6.	<i>Data Sedimen</i>	PUPR 2021

3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.1 Tahapan Penelitian



Gambar 3. 4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 5. Diagram Alir Pemodelan

Berikut ini akan dijelaskan penjabaran dari diagram alir penelitian yang terdapat pada gambar-gambar diatas.

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi persoalan merupakan suatu upaya peneliti dalam melihat peluang untuk diangkat dan dikaji dalam suatu penelitian yang hendak dilakukan, persoalan apa yang memang perlu untuk ditelaah serta urgensi yang mendasari dalam penelitian tersebut. Bisa diartikan juga bahwa identifikasi masalah yaitu apa yang melatarbelakangi persoalan yang sedang atau telah terjadi untuk memperoleh tujuan, rumusan masalah, manfaat, dan batasan-batasan dari penelitian yang akan dilakukan.

Persoalan yang sedang terjadi pada penelitian yang dilakukan penulis merupakan terdapat rencana konstruksi struktur bangunan pemecah gelombang (*Breakwater*) di PPN Bronodong Lamongan. Pada penelitian ini dilakukan identifikasi berupa memodelkan pola sebaran arus dan sedimentasi yang terdapat di area kolam Pelabuhan Perikanan Brondong Nusantara Brondong Lamongan pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater*.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini bertujuan untuk meluaskan cakrawala pengetahuan terkait permasalahan yang dijadikan sebagai pokok pembahasan dan solusi penyelesaiannya. Selain itu, perlunya peneliti untuk mencari informasi terkait wilayah studi serta menelusuri dasar-dasar teori ataupun literatur baik berupa jurnal, laporan penelitian, buku, koran dan lain sebagainya yang berkesinambungan dengan pola sebaran arus dan sedimentasi. Karena informasi-informasi yang tidak jauh kaitannya dengan penelitian yang dilaksanakan mampu mempermudah dalam pengerjaan penelitian, serta referensi mengenai software yang digunakan untuk memodelkan pola arus dan sedimen.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan aktivitas dalam mendapatkan data yang sifatnya memiliki peluang atau pengaruh secara nyata didalam

penelitian yang akan dikaji, Pada penelitian kali ini data-data yang dikumpulkan merupakan data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan oleh pihak lain serta terdapat juga beberapa data yang diambil dari situs jejaring internet yang menyediakan data yang diperlukan.

4. Pengolahan Data

Data-data sekunder yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan pengolahan pada data tersebut. Kegunaan dari setiap data-data yang diolah yaitu agar dapat sesuai dengan proses running dari pemodelan yang menggunakan *Software Delft3D*. Pembuatan Grid atau dapat diartikan sebagai garis bantu untuk meninjau lokasi studi yang akan diteliti sesuai dengan koordinat yang digunakan dengan resolusi tertentu. Persiapan model dan input konfigurasi juga termasuk tahap pengolahan data yang mana langkah tersebut secara struktural yaitu memasukkan data yang berhubungan dengan aspek hidro-oseanografi seperti data-data yang sudah di jelaskan pada **Tabel 3. 3** diatas.

Adapun penjelasan dari tahapan (A) pada **Gambar 3. 5** diatas sebagai berikut :

- a. Pertama yang harus dilakukan dalam pengolahan data yaitu mendigitasi bibir pantai saat kondisi eksisting dan *masterplan breakwater* sekaligus menyesuaikan datum dari referensi koordinat yang digunakan. Data format garis pantai yang digunakan dalam software *Delft3D* yaitu *landboundary(.ldb)*. Begitu halnya untuk data Batimetri juga perlu dilakukan digitasi saat kondisi eksisting dan *masterplan breakwater*, dengan tujuan agar dapat membedakan antara wilayah daratan dengan wilayah laut. Karena Mesh dalam software *Delft3D* bukan merupakan jaring-jaring triangulasi melainkan jaring-jaring rectangulasi.
- b. Perlakuan selanjutnya yaitu membuat Kisi(*Grid*) dalam domain lokasi penelitian di PPN Brondong Lamongan. Pembuatan grid dilakukan dengan pola persegi yang menyentuh wilayah laut lebih luas daripada wilayah daratannya dengan membuat dua kondisi, yaitu model saat kondisi eksisting dan *masterplan* struktur bangunan

pemecah gelombang (*Breakwater*). Editing grid yang digunakan dalam software *Delft3D* berbentuk persegi, semakin kecil resolusi atau ukuran grid yang digunakan maka semakin tinggi juga tingkat ketelitian dari grid tersebut.

- c. Proses untuk memperoleh hasil visualisasi laju pola arus membutuhkan data-data yaitu data pasut, angin dan data debit sungai yang ada di sekitar PPN Brondong, kemudian data pengukuran pasang surut digunakan untuk validasi output pemodelan. Hasil yang nantinya didapatkan dari pemodelan arus yaitu arah dan kecepatan arus pada kondisi eksisting dan pasca *masterplan breakwater* di wilayah kolam PPN Brondong Lamongan yang terjadi pada musim timur dan musim barat.
- d. Hasil dari pemodelan pola arus yang terjadi pada musim barat dan musim timur kemudian dilakukan pemodelan numerik sedimentasi dengan menambahkan data sedimen kohesif. Pemodelan laju sedimen didasarkan pada hasil observasi lapangan yang menunjukkan bahwa secara umum komposisi sedimen di perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan yaitu lumpur. Tipe sedimen lumpur termasuk pada jenis sedimen kohesif yang dalam proses komputasinya mengacu pada fluks antara fase di permukaan dan di dasar yang nantinya dapat mengetahui laju kumulatif dari sedimen yang tererosi atau terakresi di Cross Section yang disesuaikan dengan titik pengamatan (FLOW, 2020).

Berikut merupakan konfigurasi berserta penjelasan singkat yang terdapat dalam *software* *delft3D* :

a. *Grid/RGFGRID*

Pembuatan garis bantu koordinat yang terstruktur dalam domain yang telah ditentukan merupakan langkah awal untuk membatasi daerah yang akan disimulasikan dalam penelitian ini. Grid yang dibuat di RGFGRID berasal dari garis spline yang nantinya akan membentuk grid rectangulasi. Grid yang telah terbentuk harus di

ortogonalisasi, supaya grid tersebut dapat memenuhi persyaratan ortogonalitas pada Delft3D-FLOW (RGFGRID, 2020).

b. Quickin

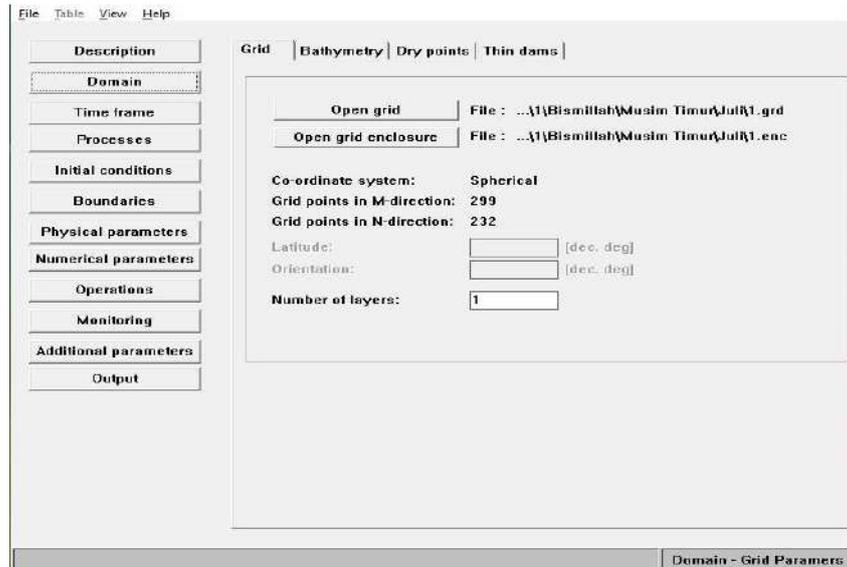
Setelah melewati tahapan pembuatan domain penelitian di RGFGRID, proses Quickin merupakan tahapan untuk menginterpolasikan dari domain grid dengan data batimetri di wilayah penelitian (QUICKIN, 2020). Grid dan Batimetri yang telah diinterpolasikan merupakan data kedalaman awal di lokasi studi yang nantinya digunakan untuk data input di Delft3D FLOW.

c. FLOW

Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data-data yang sudah diolah kedalam input konfigurasi di FLOW input, yang mana didalam flow input terdiri dari fitur-fitur yang memprogram proses visualisasi setelah memasukkan data-data pemodelan *Hydro-Morphodynamic* seperti yang terdapat pada **Tabel 3. 3**. Adapun penjelasan singkat dari setiap fitur Flow input yaitu sebagai berikut (FLOW, 2020) :

a. Domain

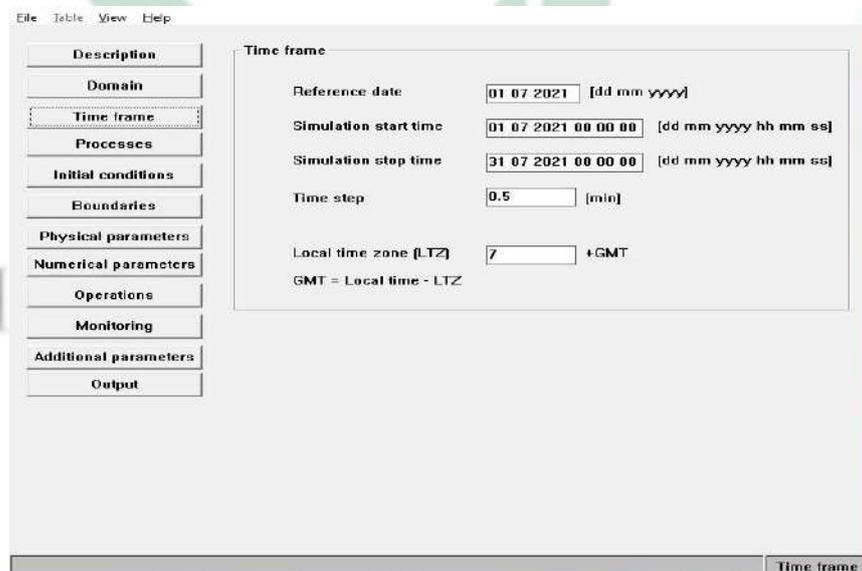
Pada fitur yang pertama yaitu Domain, Domain merupakan cakupan wilayah dari garis bantu koordinat yang dibuat dari proses RGFGRID sebelumnya(.grd),(enc),& (.dep). Thin dams dalam domain bertujuan untuk memberikan hambatan berupa *breakwater*.



Gambar 3. 6. Input Domain Pemodelan

b. *Time Frame*

Menentukan waktu simulasi berdasarkan hasil olah data presentase distribusi angin. Pemodelan dilakukan pada 2 bulan ekstrim yang mewakili kondisi musim di Indonesia yaitu Januari 2021(musim barat) Juli 2021(musim timur).

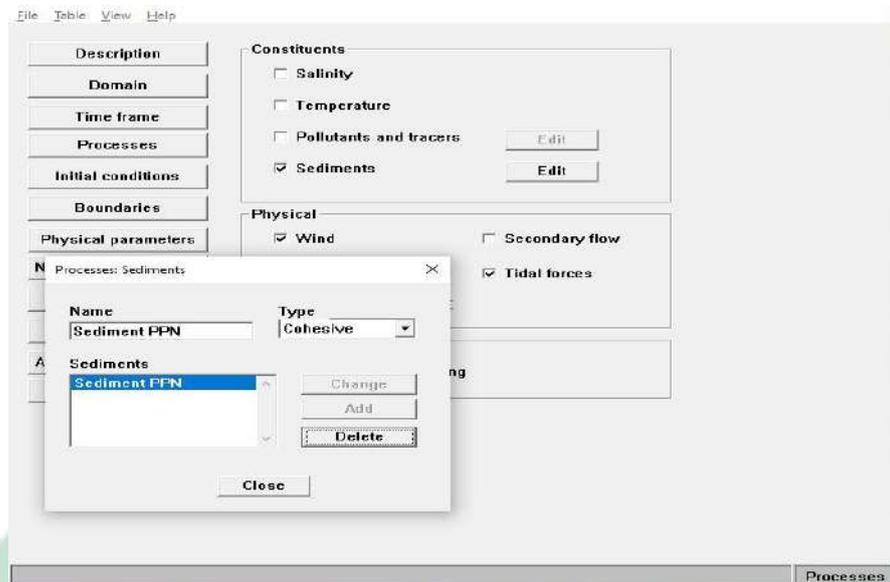


Gambar 3. 7. Input Waktu Pemodelan

c. *Processes*

Input flow proses melibatkan konstituen dan parameter fisik yang tersedia. Sediment morphology, wind, dan tidal force merupakan proses yang diaktifkan. Jenis fraksi yang digunakan

yaitu sedimen kohesif, untuk angin menggunakan *space varying and pressurei* yang menyesuaikan dengan musim berhembusnya, tidal force digunakan karena secara umum digunakan pada model grid yang besar.

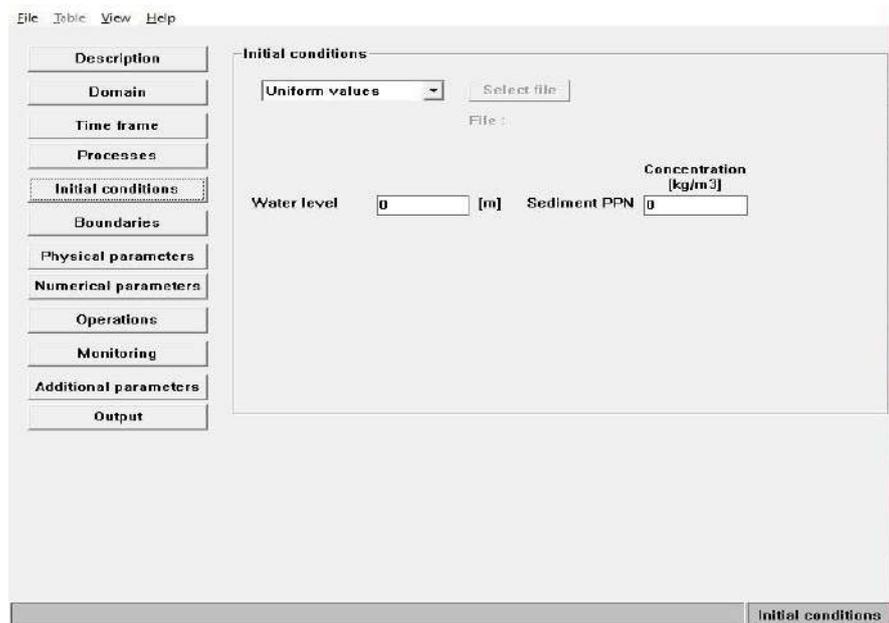


Gambar 3. 8. Input Proses dalam Pemodelan

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.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 3. 9. Input Kondisi Awal Pemodelan

e. *Boundaries*

Penentuan kondisi batas ditentukan dari aliran yang dapat mempengaruhi lokasi penelitian yaitu terdiri dari hulu dan hilir, pada sisi hulu berupa debit sungai dan pada sisi hilir (barat, utara, timur) menggunakan kondisi batas ketinggian muka air. Pada kondisi batas bagian hilir NESTHD1 menggunakan *forcing type* Astronomic dengan memasukkan nilai konstanta harmonik pasang surut pada kondisi musim barat dan musim timur. Sedangkan pada kondisi batas bagian hilir NESTHD2 menggunakan *forcing type* Time Series.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

a

File Table View Help

Description

Domain

Time frame

Processes

Initial conditions

Boundaries

Physical parameters

Numerical parameters

Operations

Monitoring

Additional parameters

Output

Boundaries

barat
utarabarat
utaratimur
timur

Add Open / Save

Delete

Section name

barat

M1 77 N1 1

M2 2 N2 1

Flow conditions

Type of open boundary (quantity): Water level

Reflection parameter alpha: 0 [s2]

Forcing type: Astronomic

Edit flow conditions

Transport conditions

Thatcher-Harleman time lag: 60 [min]

Edit transport conditions

Boundaries

b

File Table View Help

Description

Domain

Time frame

Processes

Initial conditions

Boundaries

Physical parameters

Numerical parameters

Operations

Monitoring

Additional parameters

Output

Boundaries

barat-wl-1
barat-wl-2
utara-vel-1
utara-vel-2
utara-vel-3
utara-vel-4
timur-wl-3
timur-wl-4

Add Open / Save

Delete

Section name

barat-wl-1

M1 203 N1 1

M2 93 N2 1

Flow conditions

Type of open boundary (quantity): Water level

Reflection parameter alpha: 0 [s2]

Forcing type: Time-series

Edit flow conditions

Transport conditions

Thatcher-Harleman time lag: 60 [min]

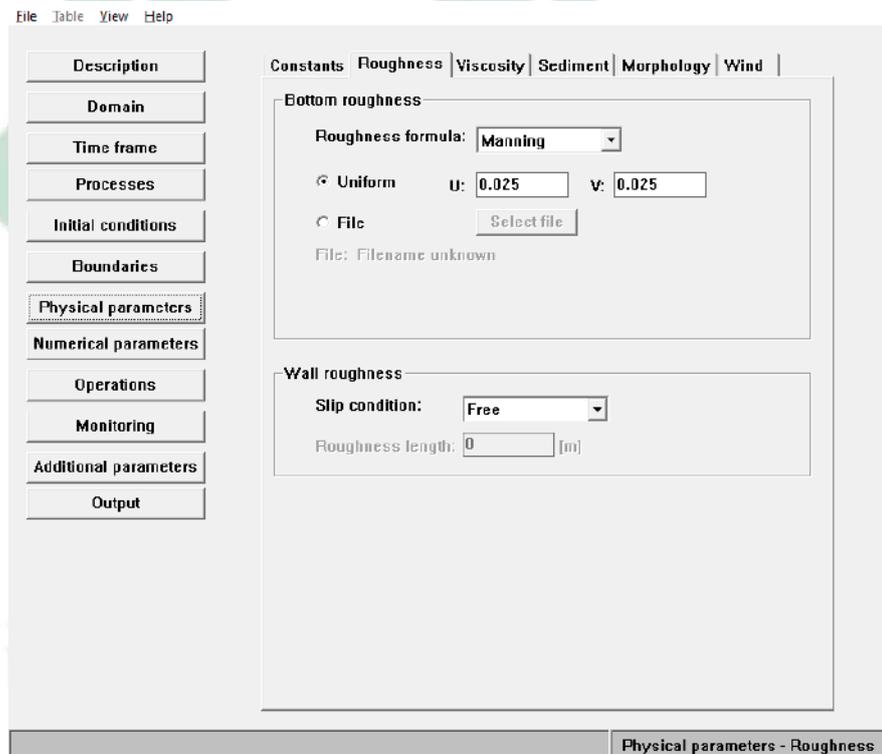
Edit transport conditions

Boundaries

Gambar 3. 10. Input Kondisi Batas Grid Besar (a). Input Kondisi Batas Grid Detail (b).

f. *Physical Parameters*

Fitur Parameter Fisik memungkinkan untuk memilih atau menentukan beberapa parameter yang terkait dengan keadaan fisik cakupan pemodelan. Tab parameter fisik berisi beberapa data yaitu konstanta, kekasaran, dan viskositas yang selalu ditampilkan di tab. Tab lain hanya tersedia jika proses yang sesuai diaktifkan. Penelitian ini mengaktifkan proses sedimen, pasang surut, dan angin.



b

File Table View Help

Constants | Roughness | Viscosity | Sediment | Morphology | Wind

Description
Domain
Time frame
Processes
Initial conditions
Boundaries
Physical parameters
Numerical parameters
Operations
Monitoring
Additional parameters
Output

Background horizontal viscosity/diffusivity

Uniform

Horizontal eddy viscosity [m2/s]

Horizontal eddy diffusivity [m2/s]

File
File: Filename unknown

Model for 2D turbulence

Subgrid scale HLES

Physical parameters - Viscosity

c

File Table View Help

Constants | Roughness | Viscosity | Sediment | Morphology | Wind

Description
Domain
Time frame
Processes
Initial conditions
Boundaries
Physical parameters
Numerical parameters
Operations
Monitoring
Additional parameters
Output

Sediment PPN

Overall sediment data

Sediment data
File: ...\\Bismillah\Musim Timur\Jul\Setelah Revisi\ncs\99.scd

Reference density for hindered settling [kg/m3]

Data for cohesive Sediment PPN

Specific density [kg/m3]

Dry bed density [kg/m3]

Fresh settling velocity [mm/s]

Saline settling velocity [mm/s]

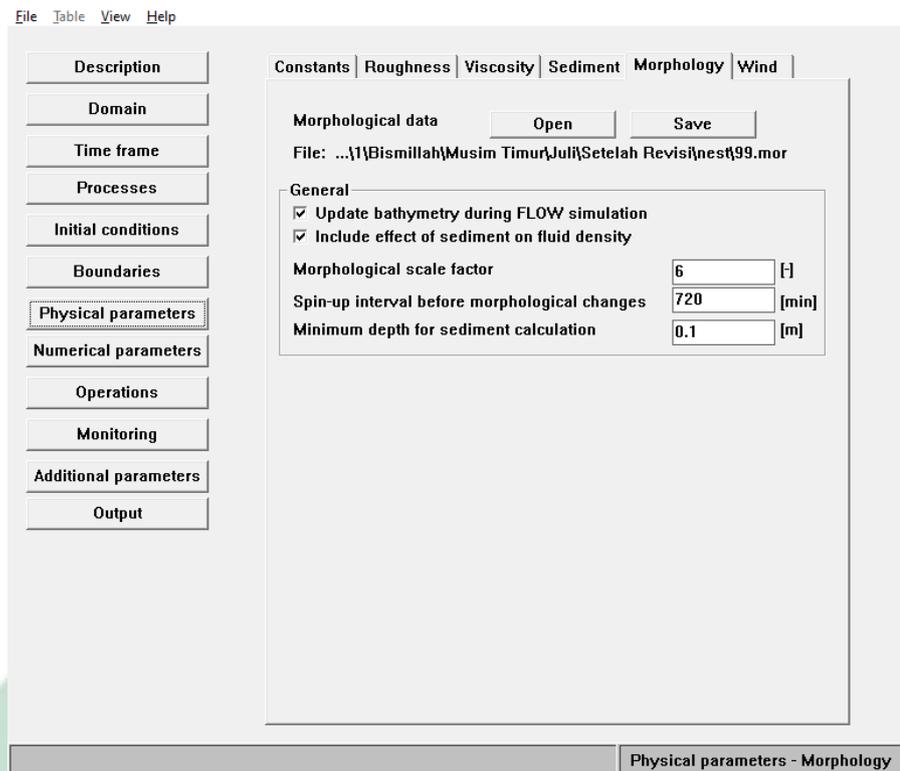
Initial sediment layer thickness at bed

Uniform Value: [m]

File
File: Filename unknown

Physical parameters - Sediment

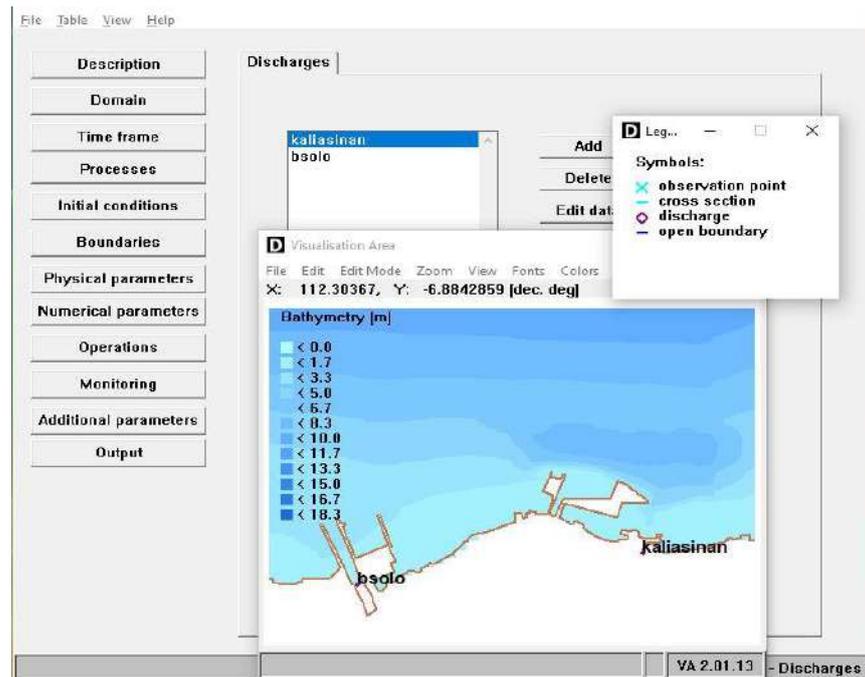
d



Gambar 3. 11. Input *Roughness* (a). *Viscosity* (b). *Sediment* (c). *Morphology* (d)

g. *Operations*

Input data debit sungai di ruang lingkup pemodelan pada penelitian ini terdapat 2 tempat yang berada di sekitar PPN Brondong Lamongan dengan dugaan sangat mempengaruhi terjadinya sedimentasi pada dua musim yang berbeda. Antara lain sungai bengawan solo dan kaliasinan.

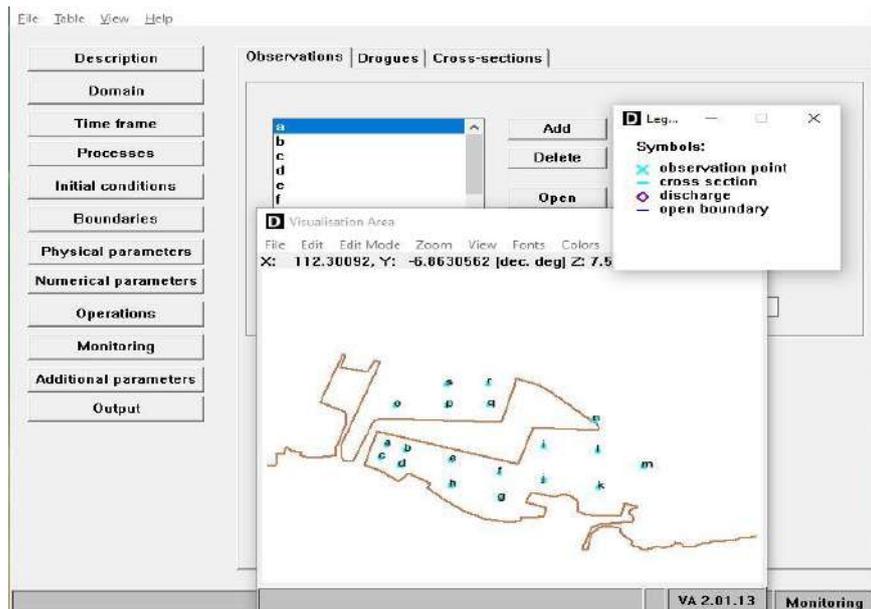


Gambar 3. 12. Input Debit Aliran Sungai

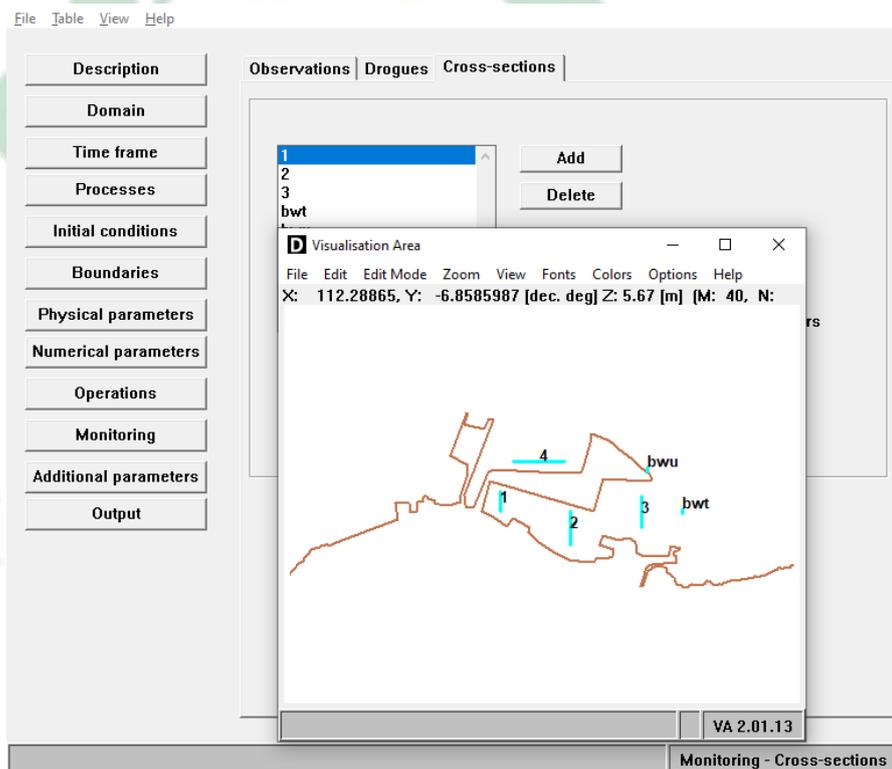
h. Monitoring

Pada fitur monitoring terdapat 3 komponen didalamnya yaitu observations, drogues dan cross-section. Yang mana dari ketiga komponen tersebut merupakan titik pengamatan yang diidentifikasi melalui nama lokasi yang sudah disimpan di area model dan terdapat penanda tertentu di masing-masing titik pengamatan yang digunakan pada grid pemodelan.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 3. 13. Input Observation Point



Gambar 3. 14. Input Penampang Melintang

i. *Running Model*

Eksekusi model flow dapat dijalankan sesuai folder output yang dihasilkan dari proses input di setiap konfigurasi. Sebelum menjalankan output dari grid besar, dilakukan NESTHD1 yang

nantinya menghasilkan output *observation* dari grid detail berupa file (.obs) & (.adm). NESTHD2 dapat dijalankan setelah merunning NESTHD1, selanjutnya hasil dari NESTHD2 yaitu berupa file *forcing type* (.bct) & *Transport condition* (.bcc). Output yang dihasilkan NESTHD2 dalam proses running nantinya dapat menghasilkan pola sebaran arus sesuai time series yang telah ditentukan, kemudian dapat diperoleh visualisasi kumulatif sedimentasi atau erosi di titik observasi penelitian.

5. Analisis Data

Proses yang dilakukan pada analisis data yaitu melihat dan menganalisis hasil dari pengolahan data yang dilakukan. Analisis tersebut yaitu sebagai berikut :

a. Validasi Data Pasang Surut

Validasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data pasang surut. Pasang surut yang digunakan untuk validasi adalah prakiraan pasang surut Admiralty dengan data pasang surut dari PT Jaladri Prima Solusi. Metode validasi yang digunakan adalah rumus *Root Mean Square Error* (RMSE). Berikut ekspresi formula RMSE oleh (Pardede, 2016) :

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

3.1

Keterangan :

x = Data ke – x

y1 = Data Pengamatan

y2 = Data Prediksi

X = Jumlah Data

- b. Analisis pola sebaran arus pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater* sesuai musim angin berhembus.
- c. Analisis pola laju sebaran sedimen sesuai titik pengamatan pada kondisi eksisting dan *masterplan breakwater* (erosi/akresi).

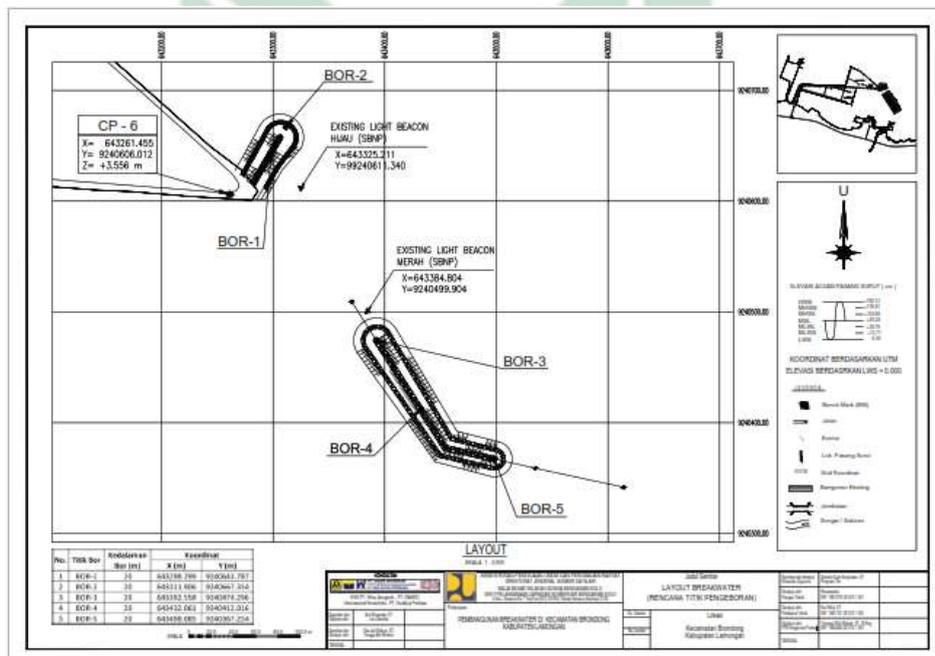
6. Penyusunan Laporan

Tahap penyusunan laporan merupakan tahap akhir apabila telah menyelesaikan pengolahan data dan analisis data yang hasil dari keduanya akan dijelaskan dalam tahap penyusunan laporan. Hingga nantinya disertakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan memberikan saran terhadap persoalan yang sedang dikaji.

3.5 Desain Model

3.5.1 Masterplan Breakwater

Lokasi penempatan *breakwater* pertama yaitu terletak di sisi utara dengan panjang *breakwater* 50 meter dengan titik koordinat secara geografis terletak pada $6^{\circ}52'6.01''\text{LS}$ dan $112^{\circ}17'51.46''\text{BT}$. Sedangkan lokasi penempatan struktur bangunan pemecah gelombang yang kedua berada disisi timur yang memiliki panjang 300 meter pada titik koordinat secara geografis terletak pada $6^{\circ}52'9.68''\text{LS}$ dan $112^{\circ}17'51.73''\text{BT}$. Adapaun peta *masterplan breakwater* di PPN Brondong Lamongan dapat di lihat pada **Gambar 3. 15** di bawah.

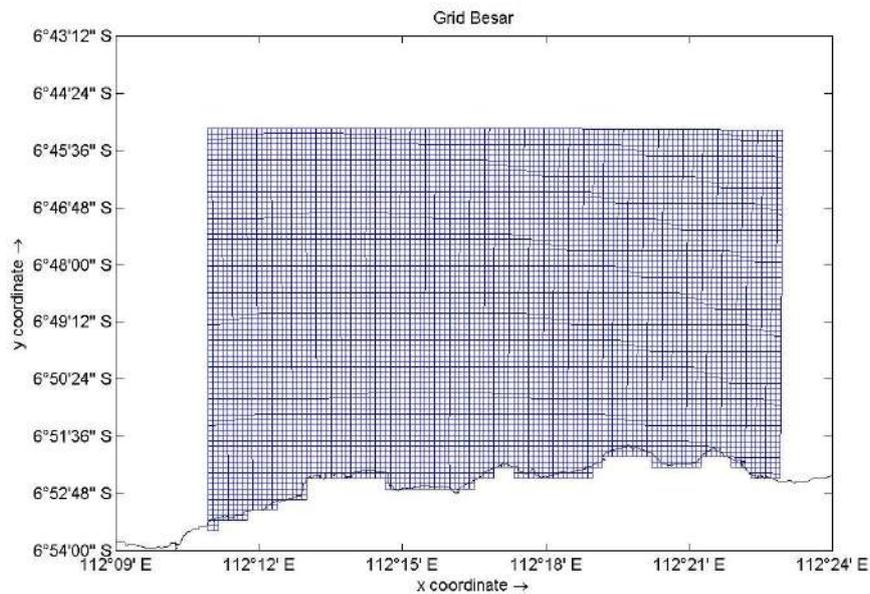


Gambar 3. 15. Masterplan Breakwater
(Sumber : (PUPR, 2021))

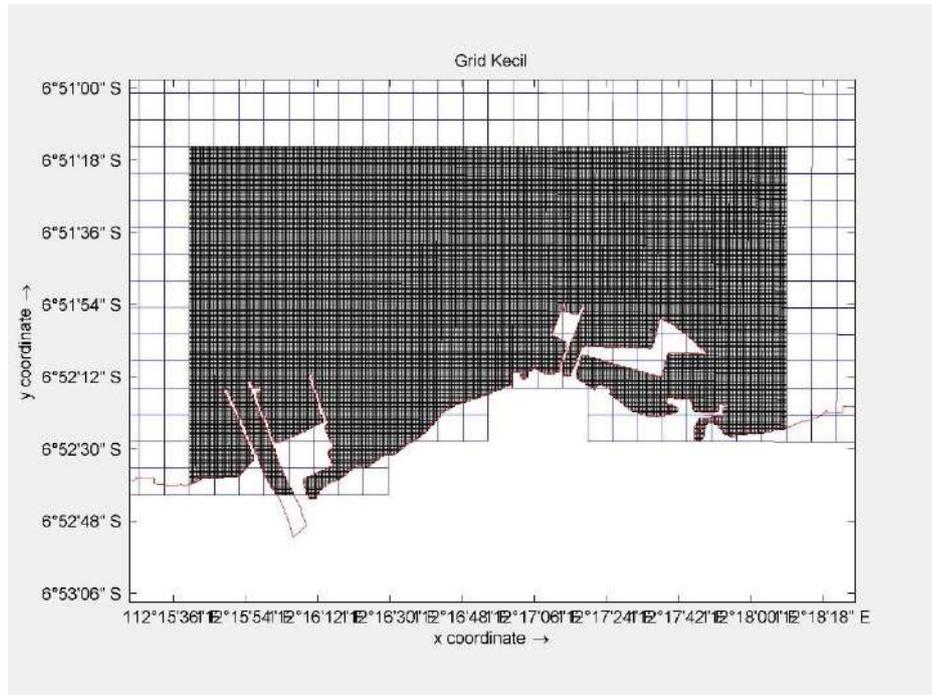
3.5.2 Grid Pemodelan

Grid pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu curvilinear grid yang mengacu pada koordinat *Spherical Stereographic Projection* atau bola. Koordinat bola merupakan koordinat yang tidak hanya memiliki parameter arah saja, namun juga memiliki parameter tinggi. Koordinat *Spherical* mengikuti garis kontur pada permukaan bumi dengan *latitude* bernilai positif ke arah utara dan *longtitude* yang bernilai positif ke arah timur (FLOW, 2020). Secara dalam pembentukan grid yaitu dilakukan penyesuaian dengan *landboundary*(.ldb) pada lokasi studi, yang mana *landboundary* merupakan garis pembatas antara daratan dengan lautan yang digunakan dalam software *delft3d*. Adapun luas area pembuatan grid besar yaitu sebesar 299,76 km², Sedangkan luas area grid kecil yaitu sebesar 10 km².

a



b



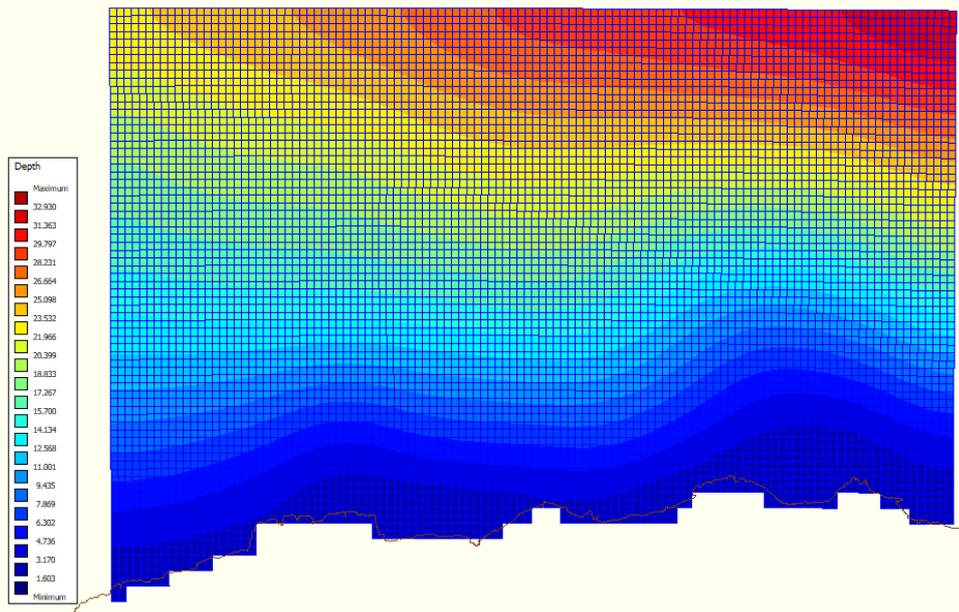
Gambar 3. 16. Grid Besar (a). Grid Detail PPN Brondong Lamongan (b).

Bentuk model dari grid kecil kondisi eksisting dan *masterplan breakwater* memiliki bentuk yang sama yaitu *curvilinear* grid, terdapat beberapa lokasi yang grid model dibuat lebih kecil dengan resolusi 11 x 12 m dikarenakan penyesuaian dengan *landboundary(.ldb)* serta terdapat mulut hilir sungai kali asinan yang berkemungkinan membawa aliran sedimen ke wilayah kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan.

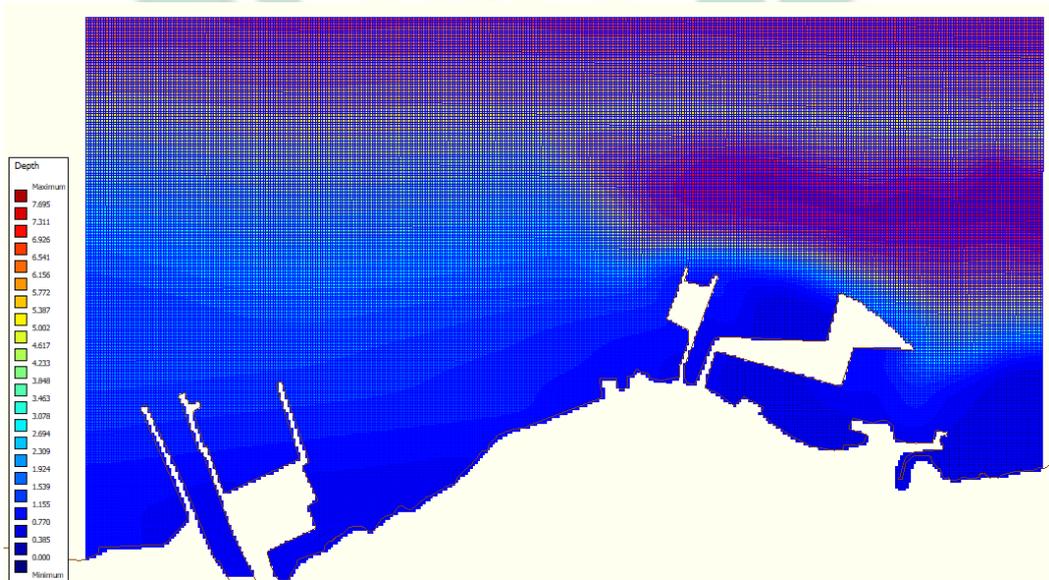
3.5.3 Domain Kedalaman Awal

Skenario wilayah pemodelan awal merupakan proses interpolasi data kedalaman atau batimetri pada QUICKIN yang dilakukan penggabungan data, antara data pengukuran langsung dari PT Jaladri Prima Solusi dan data dari Badan Informasi Geospasial (BATNAS). Proses memasukkan data kedalaman pada piranti lunak *Delft3D* menggunakan format(.xyz) yang merupakan data sampel dalam QUICKIN. Daerah pemodelan di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan terdiri dari 2 perlakuan model, yaitu pada saat kondisi Eksisting dan *masterplan*

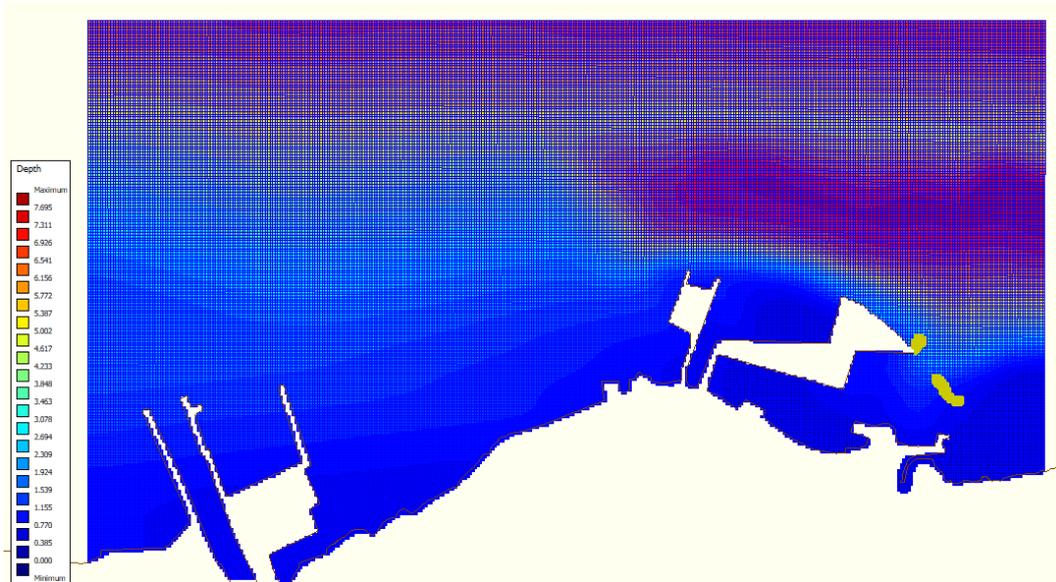
struktur bangunan pemecah gelombang. Pada **Gambar 3. 17** dapat dilihat desain kondisi eksisting di lokasi penelitian.



Gambar 3. 17. Desain Model Besar



Gambar 3. 18. Desain Model Kecil pada Kondisi Eksisting



Gambar 3. 19. Desain Model Kecil pada Kondisi *Masterplan Breakwater*

Situasi *masterplan breakwater* di sisi utara dan sisi timur juga menggunakan dua data kedalaman yang dikombinasikan antara data primer dan data sekunder, sehingga tidak ada perbedaan kedalaman secara signifikan diantara dua model perlakuan. Pada masukkan data Batimetri atau topografi di QUICKIN pada *Delft3D* digunakan tanda positif (+) untuk diwilayah laut, sedangkan digunakan tanda negatif (-) untuk diwilayah daratan. Output yang dihasilkan dari proses interpolasi data kedalaman yaitu DEPTH(.dep).

3.5.4 Parameter Model

Parameter pemodelan dalam penelitian ini menggabungkan perhitungan yaitu antara parameter hidrodinamika dengan morfologi.

Tabel 3. 4. Parameter Pemodelan

Komponen	Jenis Data		
<i>Domain</i>	Grid		
	Batimetri		
<i>Time Frame</i>		Barat	Timur
	Waktu Mulai Simulasi	01-Jan-21	01-Jul-21
	Waktu Berhenti Simulasi	31-Jan-21	31-Jul-21
	Time Step		
<i>Processes</i>	Constituents :		
	Sedimen Kohesif		
	Physical :		
	Wind		
<i>Boundaries Conditions</i>	Grid Besar (Astronomic) Grid Kecil (Time Series)		
<i>Physical Parameter</i>	Konstanta :		
	Gravitasi		
	Densitas Air		
	Kekasaran :		
	Manning		
	Kecepatan :		
	Kecepatan Turbulen		
	Difusi Turbulen		
	Sedimen Kohesif :		
	Berat Jenis		
	Berat Kering		
	<i>Operations</i>	Discharge :	
Kali Asinan dan Bengawan Solo			

Keluaran/output dari gabungan parameter pemodelan pada **Tabel 3. 4** yaitu berupa hasil visualisasi kecepatan arus, arah arus dan morfologi dasar perairan (*Cumm. Erotion/Sedimentation*) yang sesuai dengan batas aliran pada komputasional grid pemodelan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data-Data

Dalam melakukan pemodelan numerik untuk mengindikasikan pola sebaran arus dan sedimen di lokasi studi, perlu adanya proses pengolahan data yang telah diperoleh. Data-data yang di olah antara lain yaitu data angin, pasang surut, dan data gelombang yang terdapat di PPN Brondong Lamongan. Adanya hasil pengolahan ketiga data tersebut dapat membantu dalam menganalisis proses fisis yang terlibat dalam persoalan meningkatnya komposisi sedimen yang terbawa menuju area kolam pelabuhan. Dengan demikian data-data hasil analisis dapat di masukkan dalam pemodelan numerik hidromorfodinamik untuk mengetahui tujuan dari penelitian.

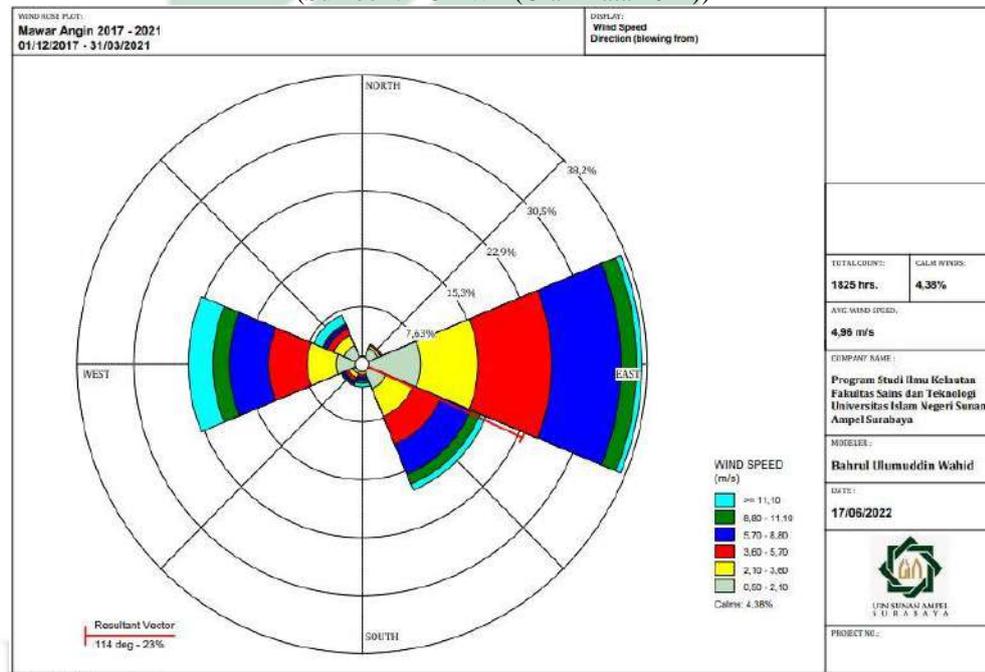
4.1.1 Distribusi Data Angin

Data angin merupakan salah satu aspek oseanografi yang digunakan untuk mengetahui kondisi arah berhembus dominan yang terjadi di wilayah perairan. Pencatatan data angin yang di dapatkan dari *European Centre for medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) yaitu dalam rentang 5 tahun terakhir sejak 2017 hingga 2021, data tersebut merupakan hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan kapal di atas permukaan laut. Perolehan hasil pengolahan distribusi data angin dari MS Exel dapat diketahui karakteristiknya dengan mudah dalam pola mawar angin (*Windrose*) menggunakan software *WRPlot View*. Adapun presentase distribusi data dan mawar angin periode 5 tahun hasil dari perangkat lunak *WRPlot View* sebagai berikut.

Tabel 4. 1. Presentase Distribusi Angin Tahun 2017 - 2021

No.	Directions / Wind Classes (m/s)	0,50 - 2,10	2,10 - 3,60	3,60 - 5,70	5,70 - 8,80	8,80 - 11,10	≥11,10	Total (%)
1	N	0.821	0.219	0.054	0	0	0	1.09
2	NE	2.300	0.328	0.219	0	0	0	2.85
3	E	7.831	7.667	9.857	9.255	2.081	0.711	37.40
4	SE	3.504	3.943	3.997	4.271	1.369	0.876	17.96
5	S	1.040	0.328	0.328	0.492	0.328	0.492	3.01
6	SW	1.369	0.547	0.492	0.328	0.109	0.164	3.01
7	W	3.45	3.888	5.147	5.257	2.19	3.285	23.22
8	NW	2.628	1.478	0.931	0.492	0.219	1.259	7.01
	Sub-Total	22.943	18.398	21.025	20.095	6.296	6.787	95.54
	Calms							4.38
	Missing Incomplete							0.05
	Total							100.00

(Sumber : ECMWF (Olah Data 2022))

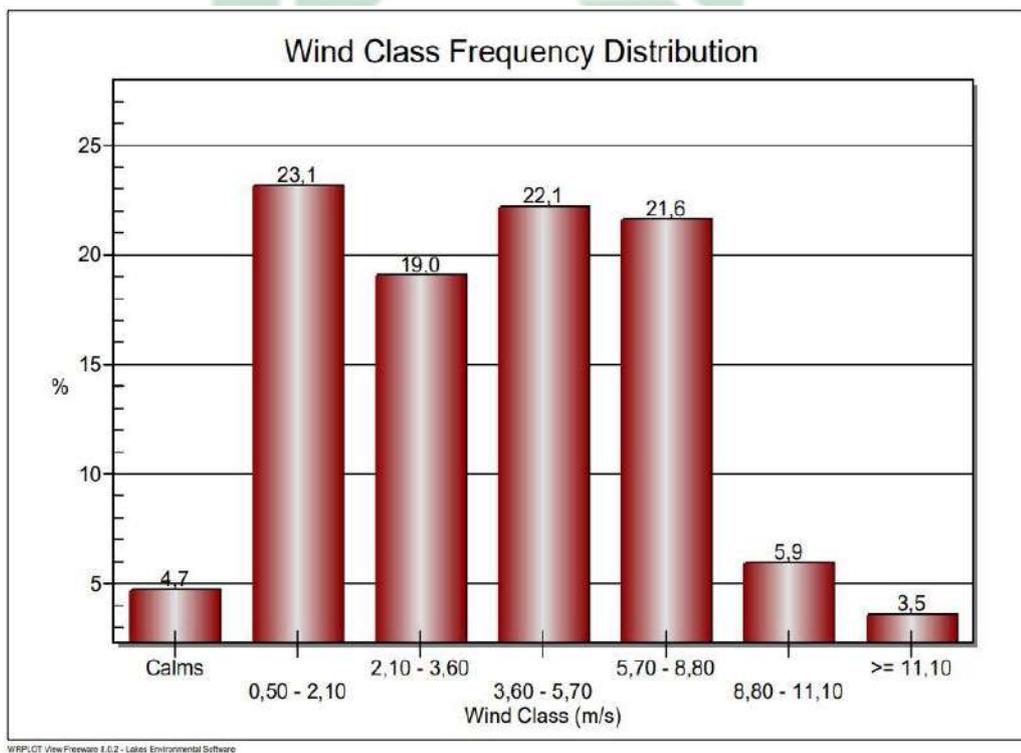


Gambar 4. 1. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan Tahun 2017 – 2021
(Sumber : ECMWF (Olah Data 2022))

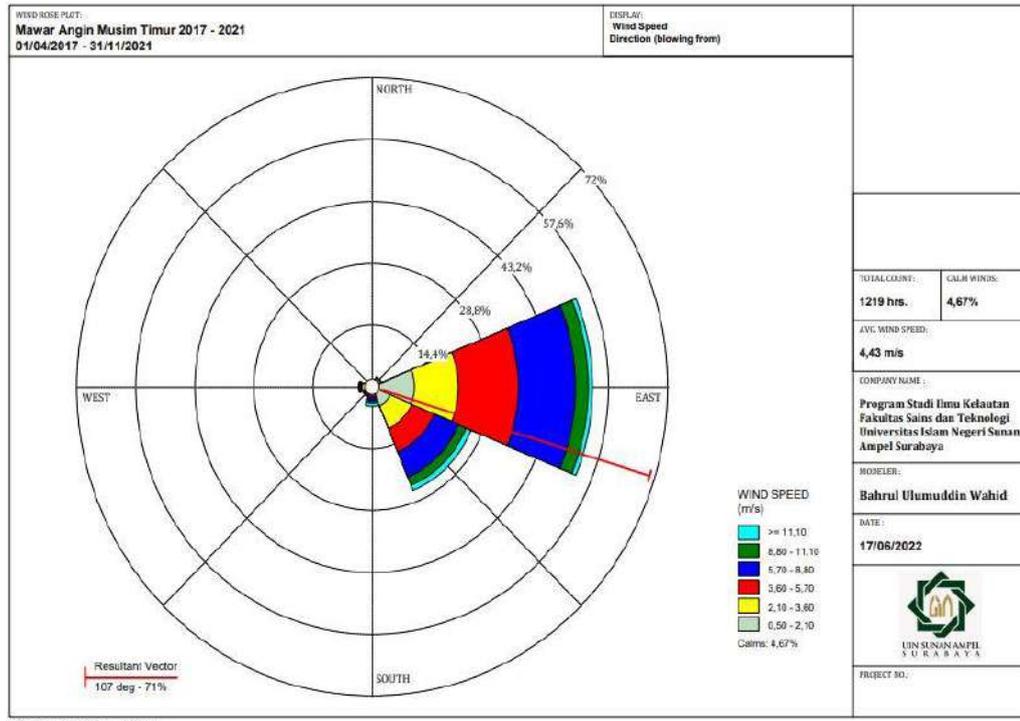
Pada **Tabel 4. 1** dapat diketahui bahwa presentase distribusi data angin yang mendominasi pada tahun 2017 – 2021 di wilayah perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan terbesar berhembus dari arah Timur yaitu dengan presentase total sebesar 37,40 %, apabila ditinjau dari arah berhembus angin yang terkecil diperoleh presentase sebesar 1,09 %. Kemudian kecepatan angin berhembus yang paling mendominasi yaitu pada kecepatan 0,50 – 2,10 m/s pada arah datang dari sisi timur dengan nilai sebesar 7,831 %. Tabel frekuensi distribusi diatas dapat diketahui bahwa terdapat arah berhembus yang dominan selain dari

sisi timur yaitu pada arah barat pada kisaran kecepatan 5,70 - 8,80 m/s yakni sebesar 5,257 %.

Kemudian pada **Gambar 4. 1** dapat diketahui bahwa pola mawar angin sejak tahun 2017 – 2021 di wilayah PPN Brondong Lamongan menunjukkan arah angin berhembus dari timur dan barat adalah arah datang angin yang signifikan, yaitu dengan presentase secara berurutan sebesar 37,40% dan 23,22%. Nilai rata-rata kecepatan angin yang diperoleh dari hasil analisis data angin ERA5 ECMWF yang berupa grafik mawar angin selama 5 tahun diperoleh nilai sebesar 4,96 m/s.



Gambar 4. 2. Presentase Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin pada Musim Timur

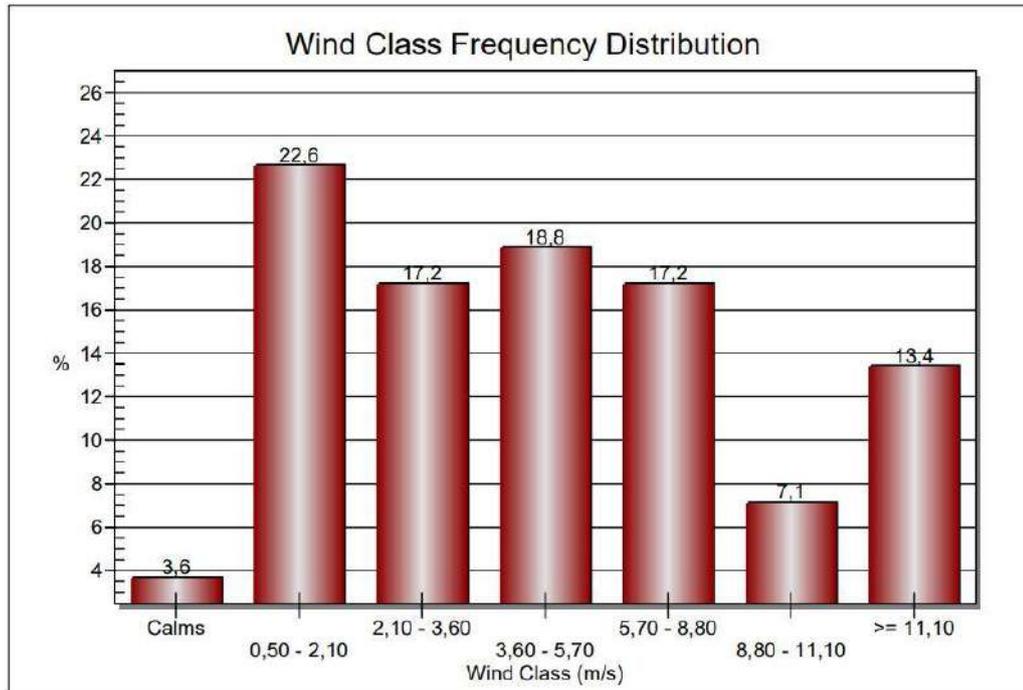


Gambar 4. 3. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan pada Musim Timur

Seperti yang terdapat pada **Gambar 4. 2** diatas dalam bentuk diagram batang diketahui bahwasannya presentase distribusi kecepatan angin pada musim barat yaitu terdapat pada kisaran nilai 0,50 – 2,10 m/s dengan nilai presentase kecepatan terbesar yaitu 23,1 %. Berlawanan dari nilai kecepatan terbesar, pada kelas distribusi kecepatan angin terendah yaitu pada kisaran angka lebih dari sama dengan 11 yaitu diperoleh nilai presentase distribusi kejadian angin sebesar 3,5 %. Pada kejadian angin musim timur juga terdapat nilai angin tenang dengan kemungkinan arah datang yaitu dari sisi utara yang memiliki presentase distribusi sebesar 4,7 %.

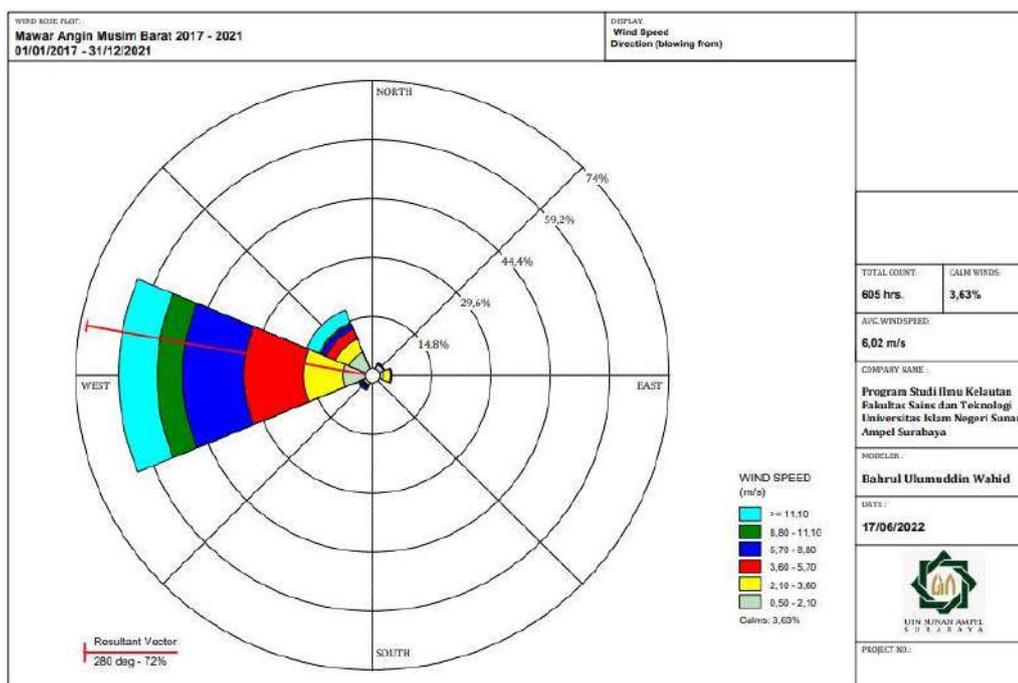
Selanjutnya berdasarkan mawar angin yang terdapat pada **Gambar 4. 3** menunjukkan arah berhembus angin dominan pada musim timur yaitu datang dari arah timur dengan kisaran frekuensi 56,6 %. Selanjutnya diperoleh plot mawar pada musim timur yang arah datang anginnya berhembus dari sisi tenggara dengan presentase distribusi angin berhembus kisaran 27,8 %. Selain itu terdapat juga presentase distribusi arah angin berhembus yang diperoleh dengan nilai yang cukup kecil yaitu kisaran 4.5

% datang dari arah selatan dan barat. Kecepatan angin rata-rata yang terjadi pada musim timur secara keseluruhan diperoleh nilai sebesar 4,43 m/s.



Gambar 4. 4. Presentase Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin pada Musim Barat

Berdasarkan grafik diagram batang yang terdapat pada **Gambar 4. 4** dapat diketahui bahwa presentase kelas distribusi musim barat yang paling signifikan yaitu sama dengan distribusi kejadian angin pada musim timur, yaitu pada kisaran kecepatan angin 0,50 – 2,10 m/s dengan presentase distribusi sebesar 22,6 %. Nilai presentase terendah yang diperoleh dari diagram batang diatas menunjukkan pada kelas kecepatan angin kisaran 8,80 – 11,10 m/s yaitu didapatkan presentase distribusi angin sebesar 7,1 %. Terdapat juga kejadian angin di musim barat yang mana presentase distribusi angin di stasiun pengamatan termasuk dalam kategori angin tenang, kemungkinan arah datang yang terjadi yaitu dari sisi selatan yang memiliki presentase distribusi sebesar 3,6 %.

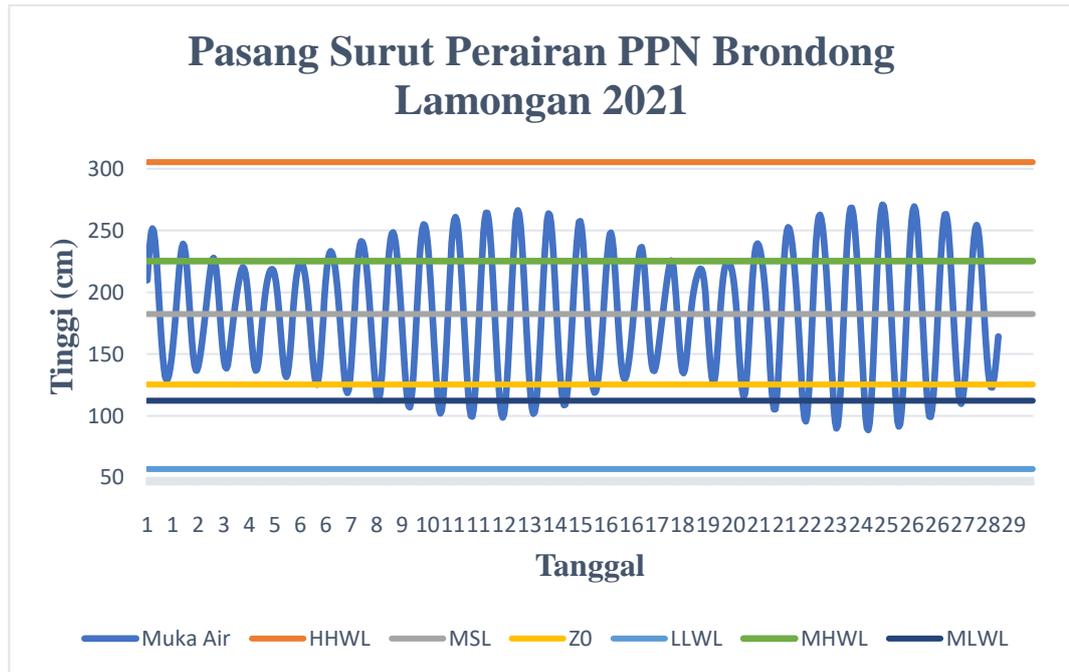


Gambar 4. 5. Mawar Angin Perairan PPN Brondong Lamongan pada Musim Barat

Setelah menganalisis presentase kecepatan angin dominan, kemudian dapat diketahui juga arah berhembus angin yang dominan melalui mawar angin pada **Gambar 4. 5**. Sesuai dengan plot mawar angin diperoleh bahwa arah berhembus yang paling signifikan pada musim barat yaitu berhembus dari arah barat dengan kisaran frekuensi sebesar 60,2 %. Selanjutnya diperoleh plot mawar pada musim barat yang arah datang anginnya berhembus dari arah barat laut dengan presentase distribusi angin berhembus kisaran 15,8 %, terdapat juga dari arah timur laut, dan barat daya dengan presentase frekuensi angin berhembus yang sangat kecil kisaran 5,2 %.

4.1.2 Data Pasang Surut

Secara geografis berdasarkan datum geodetik WGS 1984, penentuan pengambilan data pasang surut prediksi selama 30 hari terletak pada koordinat -6,8646 LS dan 112,2928 BT. Data elevasi yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial sejak 01 – 31 Juli 2021 akan digunakan sebagai penentu kriteria pasang surut yang melalui perhitungan konstanta harmonik pasut yang terdapat di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan.



Gambar 4. 6. Grafik Pasang Surut PPN Brondong Lamongan
(Sumber : Olah Data, 2022)

Data elevasi yang telah diketahui grafik pasang surutnya kemudian diolah menggunakan metode *admiralty* guna memperoleh nilai nilai harmonik (M₂, S₂, N₂, K₁, O₁, M₄, MS₄, K₂, P₁) pasang surut yaitu amplitudo(A) dan fase(g°) kejadian pasang surut. Perolehan nilai F(*Formzahl*) merupakan hasil dari perhitungan variabel amplitudo pasang surut yang mana dilakukan pembagian antara komponen utama bulan dan matahari diurnal dengan komponen utama bulan dan matahari semi diurnal. Hasil dari perhitungan bilangan *formzahl* nantinya dapat diketahui karakteristik pasang surut yang terjadi pada lokasi studi. Adapun Konstanta Harmonik pasang surut beserta istilah nilai penting pasang surut hasil olahan metode *Admiralty* di PPN Brondong lamongan disajikan pada

Tabel 4. 2. Komponen Harmonik dan Istilah Penting Pasut di PPN Brondong Lamongan

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
A (cm)	182	6.5	6.6	2.2	65.2	21.5	0.1	0.3	1.5	21.5
g (°)		279.1	187.0	258.1	216.7	151.7	239.4	287.8	187.0	216.7

Unsur	Formula	Hasil (cm)
MSL	S_0	182
HHWL	$S_0+(M_2+S_2+K_1+O_1+K_2+P_1)$	305
LLWL	$S_0-(M_2+S_2+N_2+K_1+O_1+M_4+MS_4+K_2+P_1)$	57
Z0	$M_2+S_2+N_2+K_1+O_1+M_4+MS_4+K_2+P_1$	125
MHWL	$Z_0+(K_1+O_1)+(M_2+S_2)$	225
MLWL	$Z_0-(M_2+S_2)$	112
F	$(K_1+O_1)/(M_2+S_2)$	6.62

(Sumber : Olah Data, 2022)

Hasil perhitungan komponen harmonik dan penentuan karakteristik pasang surut dengan bilangan formzhal yang sesuai pada persamaan 2.6 diatas. Pasang surut di perairan PPN Brondong Lamongan memiliki tipe harian tunggal beraturan dengan nilai F sebesar 6,62. Dengan demikian, elevasi pasang surut yang telah dihitung menggunakan metode admiralty adalah pasang surut yang tergolong kedalam tipe satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari(*Diurnal*).

4.1.3 Data Debit Sungai

Pada Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan terdapat 2 aliran sungai yang juga perlu diinputkan dalam pemodelan, diantaranya yaitu sungai Bengawan Solo pada saat pengukuran lapangan pada musim timur di bulan Juli diperoleh nilai rata-rata debit sungai sebesar $26,35 \text{ m}^3/\text{s}$. Kemudian pada pengukuran lapang saat musim barat di bulan Januari nilai rata-rata debit sungai yaitu sebesar $285,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Adapun data debit sungai di Kaliasinan yang rata-rata debit alirannya lebih kecil daripada di Bengawan Solo pada saat musim timur di bulan Juni yaitu sebesar $2,635 \text{ m}^3$, sedangkan pengukuran di Kaliasinan pada saat musim barat rata-rata debit sungai diperoleh hasil sebesar $28,56 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabel 4. 3. Debit Sungai di Sekitar PPN Brondong Lamongan

Sungai	Bulan		Lebar (m)
	Januari	Juli	
	Debit Sungai m ³ /s	Debit Sungai m ³ /s	
Bengawan Solo	285,6	26,35	170
Kali Asinan	28,56	2,635	17

(Sumber : (PUPR, 2021))

4.1.4 Data Konsentrasi Sedimen Kohesif

Data konsentrasi sedimen yang digunakan merupakan data jenis sedimen lempung (*Clay*). Menurut (Triatmodjo, 1996) menjelaskan bahwasannya wilayah pesisir yang jenis substratnya berlumpur terdapat besar kemungkinan konsentrasi sedimen kohesif dari aliran sungai dapat membawa sedimen suspensi dalam jumlah besar ke wilayah laut. Dengan demikian, input data konsentrasi sedimen suspensi yang dimasukkan dalam pemodelan yaitu dari 2 muara sungai yang terdapat di sekitar PPN Brondong Lamongan yaitu konsentrasi dari Bengawan Solo dan Kaliasinan pada saat pengukuran di bulan Januari (Musim Barat) dan bulan Juli (Musim Timur).

Tabel 4. 4. Sedimen Kohesif Muara Sungai di Sekitar PPN Brondong Lamongan

Sungai	Bulan		Lebar (m)
	Januari	Juli	
	Sedimen Kohesif Kg/m ³	Sedimen Kohesif Kg/m ³	
Bengawan Solo	0,2771	0,2771	170
Kali Asinan	0,02771	0,02771	17

(Sumber : (PUPR, 2021))

Sebagian besar sedimen yang berada di sekitar pantai (teluk, muara sungai, dan estuari) merupakan sedimen jenis kohesif yang memiliki diameter butiran yang cukup kecil dengan pola transport tergantung pada gaya-gaya permukaan daripada gaya berat (Triatmodjo, 1996). Pada **Tabel 4. 4** dapat diketahui bahwa angkutan sedimen yang terdapat pada dua musim memiliki nilai kesamaan angkutan di dua muara sungai.

4.2 Pemodelan Hydro-Morfodinamik

Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini untuk mengetahui interaksi aliran arus pasut yang terjadi di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan, serta bagaimana pola sebaran sedimen kohesif yang terjadi berdasarkan data input yang telah tersedia. Pemodelan dilakukan di 2 musim yang berbeda selama 1 bulan, Berdasarkan (BSN, 2014) menjelaskan bahwa parameter pasang surut temporer atau pengamatan pasang surut yang dilakukan dengan periode satu bulan dapat digunakan untuk keperluan kerekayasaan. Seperti penentuan muka air rata-rata, penentuan koreksi pasut untuk survei hidrografi, perencanaan pelabuhan, konstruksi bangunan pesisir atau lepas pantai.

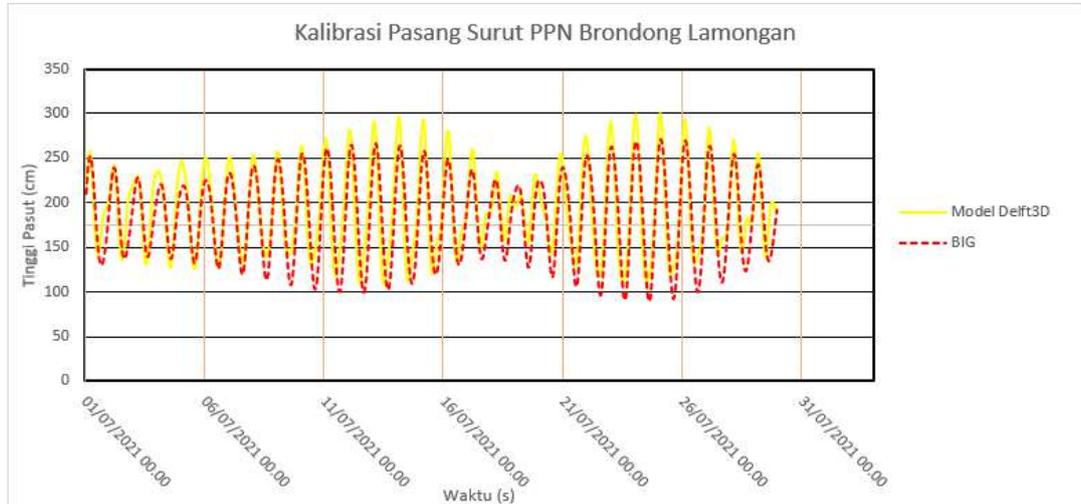
4.2.1 Kondisi Batas Pemodelan

Pemodelan numerik Delft3D yang berlokasi di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan menggunakan kondisi batas ketinggian muka air, gradien muka air sejajar pantai dan debit muara pada grid pemodelan seperti pada **Gambar 3. 16**. Berdasarkan (Eleisia & Pratama, 2021) menjelaskan bahwa dalam pemodelan persebaran aliran dan atau transportasi sedimen perlu ditentukannya kondisi batas, penentuan kondisi batas ditentukan dari aliran yang dapat mempengaruhi lokasi penelitian yaitu terdiri dari hulu dan hilir, pada sisi hulu berupa debit sungai dan pada sisi hilir berupa pasang surut. Pada kondisi batas bagian hilir menggunakan *forcing type* Astronomic dengan memasukkan nilai konstanta harmonik pasang surut. Kemudian pada area hulu sungai di sekitar PPN Brondong Lamongan di masukkan nilai rata-rata debit sungai secara *time series*.

4.2.2 Validasi Pemodelan

Hasil visualisasi pemodelan pasang surut menggunakan Delft3D kemudian dilakukan validasi atau verifikasi data untuk mengetahui sejauh mana tingkat keakuratan dari model yang telah dibuat. Verifikasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan data elevasi sekunder dengan hasil simulasi pemodelan. Elevasi muka air dari hasil pemodelan diperoleh bahwa pasang surut di sekitar Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong

Lamongan terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari dengan waktu dan ketinggian yang berbeda. Grafik perbandingan data sekunder dengan hasil pemodelan disajikan pada **Gambar 4. 7** dibawah.

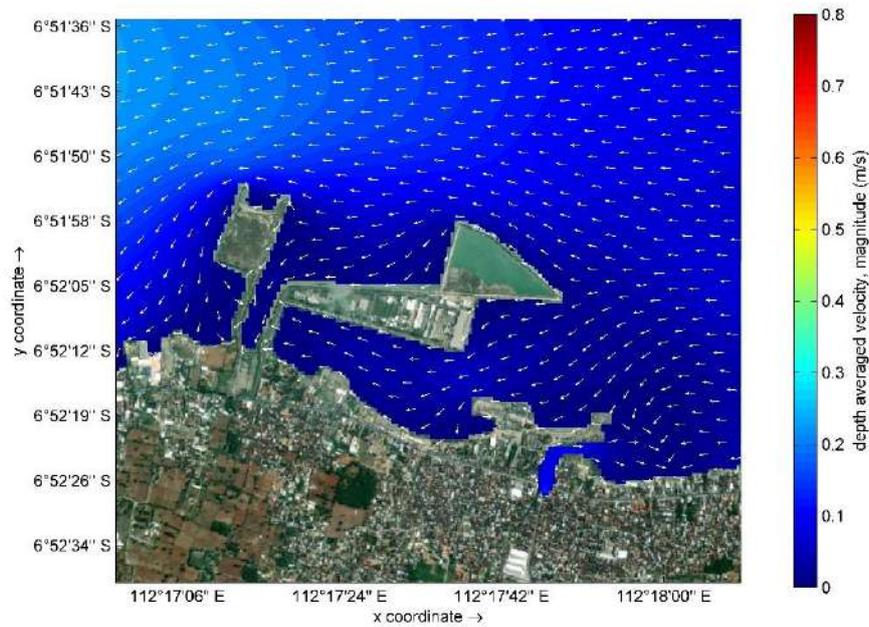


Gambar 4. 7. Kalibrasi Muka Air Pemodelan Delft3D dengan BIG
(Sumber : Olah Data, 2022)

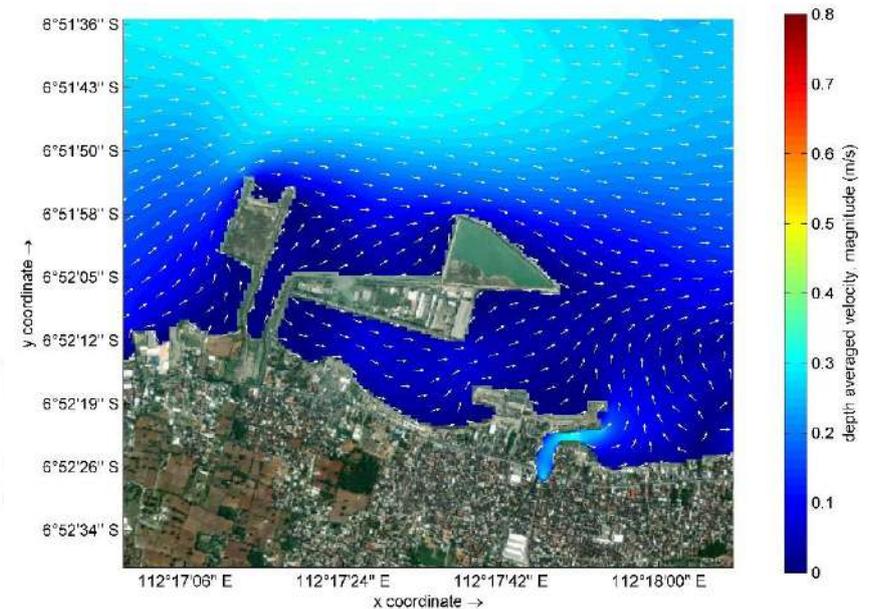
Berdasarkan grafik perbandingan muka air diatas, dapat diketahui bahwa terdapat kesamaan karakteristik pasang surut yang terjadi di perairan PPN Brondong Lamongan yaitu pasut harian tunggal beraturan. Nilai yang didapatkan dari perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) dari kedua data diatas menghasilkan nilai sebesar 0,1750. Menurut (Ryanto et al., 2022) menjelaskan bahwa perlunya dilakukan verifikasi data elevasi muka air yaitu untuk mengetahui kesesuaian antara kedua data yang ada, sehingga dari data yang sudah di kalibrasi dapat diterima dan dapat dilanjutkan untuk memodelkan arus dan sedimentasi di PPN Brondong Lamongan.

4.2.3 Hasil Pemodelan Arus Pada Musim Timur

Hasil dari pemodelan arus di wilayah perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan pada sektor timur kondisi eksisting saat pasang tertinggi dan surut terendah secara berturut-turut disajikan pada **Gambar 4. 8** dan **Gambar 4. 9**. Selanjutnya pola pergerakan arus pada kondisi *masterplan breakwater* saat pasang tertinggi dan surut terendah masing-masing terdapat pada **Gambar 4. 10** dan **Gambar 4. 11**.



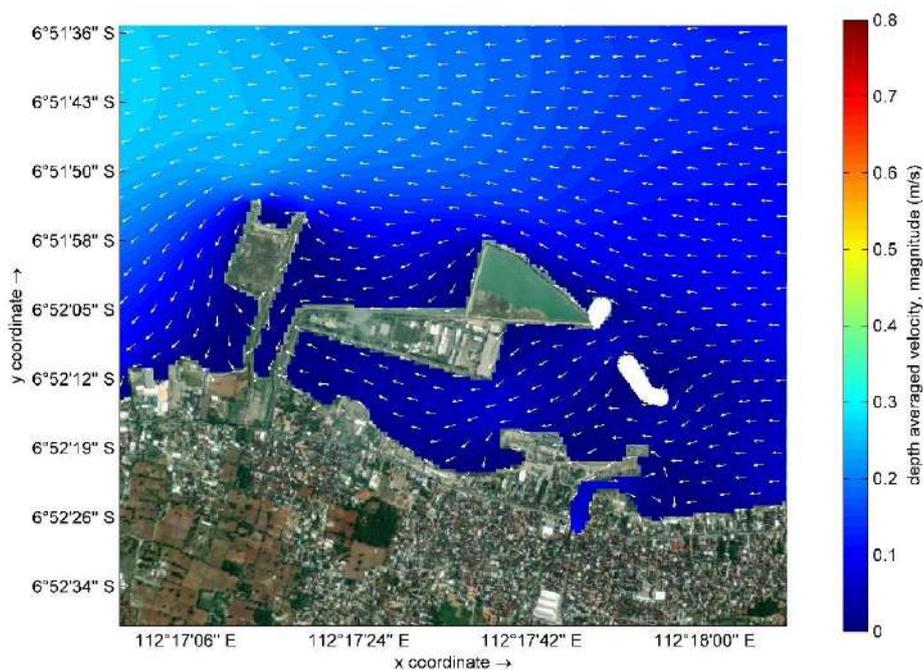
Gambar 4. 8. Pola Pergerakan Arus Musim Timur Pra *Breakwater* saat Pasang Tertinggi



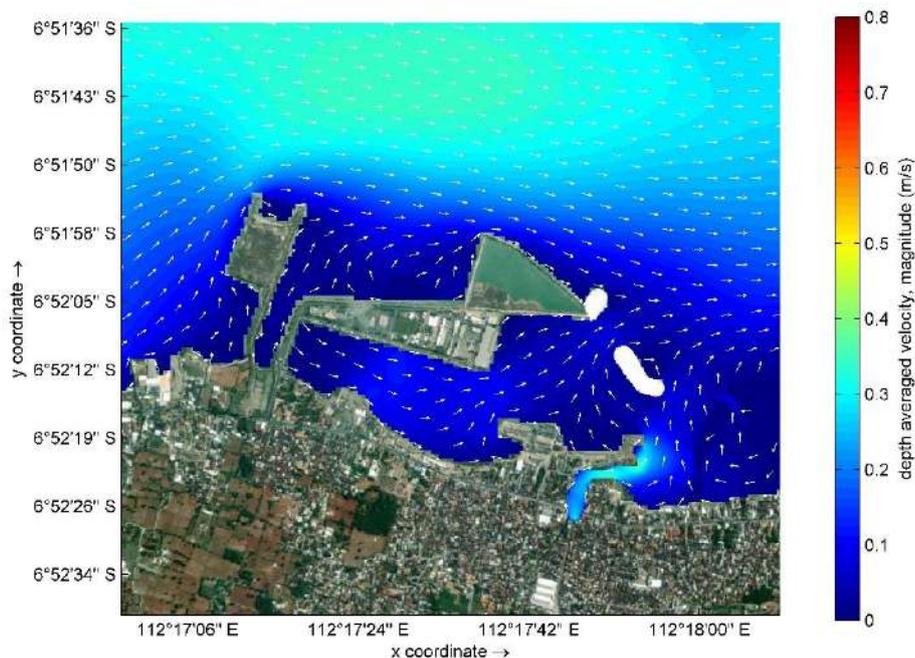
Gambar 4. 9. Pola Pergerakan Arus Musim Timur Pra *Breakwater* saat Surut Terendah

Meninjau pola pergerakan arus sektor timur yang terjadi disekitar PPN Brondong Lamongan pada saat kondisi sebelum adanya struktur *breakwater* diketahui bahwa pergerakan arus dominan dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut dan arah angin yang mendominasi.

Kecepatan arus yang terjadi saat pasang tertinggi pada 19 titik pengamatan yaitu antara 0.0074 m/s – 0.1914 m/s, dengan nilai kecepatan arus yang terbesar yaitu pada perbatasan area kolam 2 dan 3 yang dekat dengan pelabuhan lama. Sedangkan kecepatan arus pada saat surut terendah diperoleh nilai antara 0.0018 m/s – 0.2450 m/s yang mana kecepatan arus tertinggi berada di area luar kolam mengalami pembalikan arah ketika arus pada saat surut. Penelitian dari (Putra et al., 2021) menjelaskan bahwa bergeraknya arus yang berlawanan arah atau dua arah merupakan terdapat perbedaan kondisi ketinggian muka laut yaitu dari fase surut menuju pasang dan pasang menuju surut, yang mana kecepatan dan pola arah arus memiliki kecenderungan yang fluktuatif yaitu mengikuti dari pola pasang surut air laut tersebut.



Gambar 4. 10. Pola Pergerakan Arus Musim Timur *Masterplan Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 11. Pola Pergerakan Arus Musim Timur *Masterplan Breakwater* saat Surut Terendah

Pergerakan arah dan kecepatan arus pada saat musim timur pasca *masterplan breakwater* yang ditinjau dari 19 titik pengamatan yang terdapat pada **Gambar 3. 3** dapat diketahui bahwa kecepatan dan arah arus yang cenderung mengalami perubahan pada saat pasang yaitu pada wilayah kolom 3. Selain itu pada titik yang berada pada kawasan pembangunan *breakwater* juga mengalami penurunan kecepatan arus pasang yang terjadi pada sektor timur. Kondisi arus saat surut lebih dominan mengalami perubahan arah yang terdapat pada area kolom 3.

Kecepatan arus pada 19 titik pengamatan setelah adanya *masterplan breakwater* pada saat pasang tertinggi yaitu antara 0.00068 m/s – 0.09383 m/s yang mana nilai kecepatan arus lebih kecil daripada saat kondisi eksisting. Apabila pada saat surut terendah kecepatan arus yang terjadi pada 19 titik pengamatan seperti yang ditampilkan pada gambar **Gambar 3. 3** yaitu antara 0.0018 m/s – 0.2224 m/s dengan nilai kecepatan arus tertinggi yang sama dengan kondisi eksisting yaitu berlokasi di luar kolam pelabuhan. Berdasarkan penelitian (Alfarisi & Suciaty, 2021) menyatakan bahwa kondisi arus karena adanya *masterplan breakwater* berpengaruh signifikan perubahannya dalam jarak 60 meter dari penempatan struktur.

Menurut (Hakiki et al., 2021) menjelaskan bahwa perilaku arus pasang yang lebih dominan daripada arus saat surut tanpa adanya *breakwater* pada kawasan pelabuhan dapat mentranspor lebih banyak sedimen yang terdapat pada wilayah pelabuhan.

Tabel 4. 5. Kondisi Arus PPN Brondong Lamongan pada Musim Timur

Kondisi Arus Musim Timur			
Titik Pengamatan	Sub Area	Pra <i>Breakwater</i>	<i>Masterplan Breakwater</i>
		Kecepatan Rata-Rata (m/s)	
Ta	Area 1	0.0023	0.0022
Tb		0.0066	0.0064
Tc		0.0023	0.0023
Td		0.0052	0.0058
Te	Area 2	0.0230	0.0343
Tf		0.0271	0.0331
Tg		0.0137	0.0152
Th		0.0130	0.0129
Ti	Area 3	0.0186	0.0188
Tj		0.0215	0.0244
Tk		0.0073	0.0149
Tl		0.0164	0.0233
Tm	Area Breawater	0.0258	0.0124
Tn		0.0359	0.0009
To	Area 4	0.0180	0.0278
Tp		0.0258	0.0491
Tq		0.0236	0.0426
Tr		0.0553	0.0888
Ts		0.0391	0.0707

(Sumber : Olah data, 2022)

Tabel 4. 6. Arus Rata-Rata di Masing-Masing Area Kolam Musim Timur

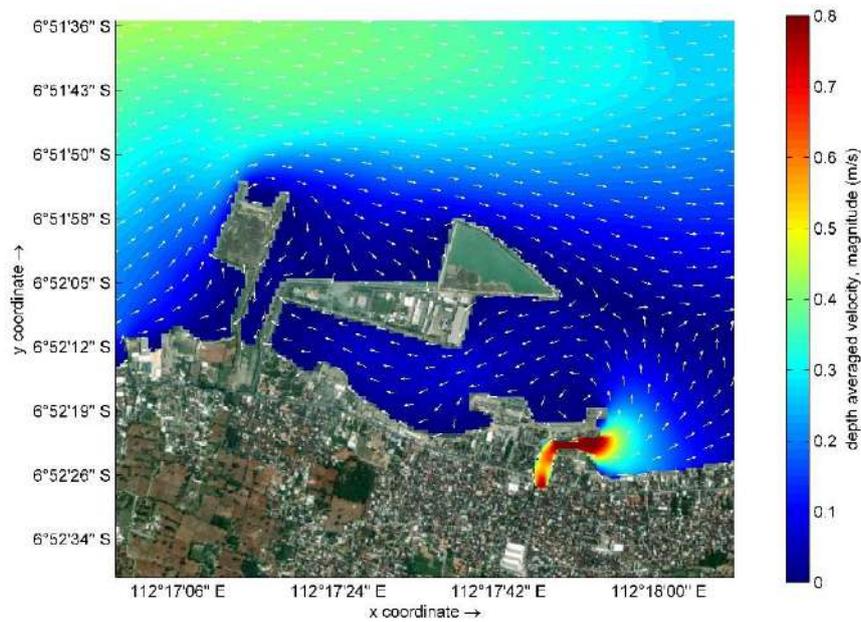
Area Kolam	Pra <i>Breakwater</i>	<i>Masterplan Breakwater</i>
	Kecepatan Rata-rata (m/s)	
Area 1	0.0041	0.0042
Area 2	0.0192	0.0239
Area 3	0.0159	0.0203
Area Breakwater	0.0308	0.0067
Area 4	0.0323	0.0558

(Sumber : Olah data, 2022)

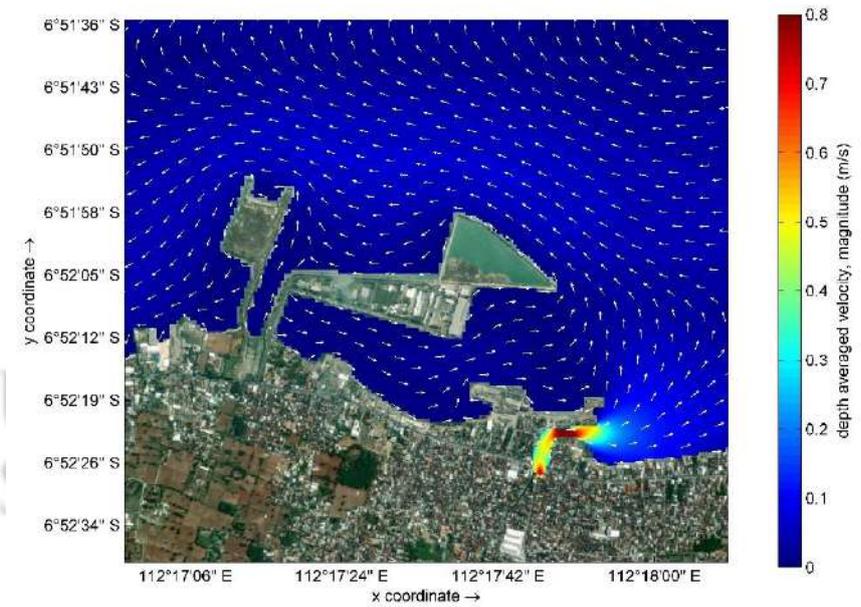
Tabel 4. 5 diatas diketahui kondisi arus saat musim timur mengalami peningkatan yang signifikan pada area luar kolam pelabuhan saat kondisi *masterplan breakwater*. Hal tersebut dikarenakan arus pasang surut yang hendak menuju ke kolam pelabuhan terhalang oleh adanya *breakwater* pada sisi utara dan menuju ke area luar kolam pelabuhan. Titik Tn merupakan titik yang terdapat di *breakwater* sisi utara, kecepatan arus pada Tn pada kondisi eksisting diperoleh kecepatan arus sebesar 0,036 m/s kemudian saat *masterplan* mengalami penurunan menjadi 0.0001 m/s. Berdasarkan (Kahiking, 2022) mengemukakan bahwa fenomena angin terjadi pertama yaitu sebagai akibat dari rotasi bumi yang mengakibatkan pasang surut disetiap waktunya yang juga berdampak pada peristiwa pembelokan arus laut, selain itu adanya pembangunan struktur penghalang juga mempengaruhi pergerakan pola arus. Kemudian menurut (Putra et al., 2021) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pergerakan massa air umum di laut akan sangat mempengaruhi pola distribusi padatan tersuspensi. Berdasarkan **Tabel 4. 6** dapat diketahui secara keseluruhan di titik pengamatan sesuai pada **Gambar 3. 3**, rata-rata kecepatan arus saat musim timur pada kondisi eksisting mencapai 0.020 m/s, sedangkan pada saat kondisi *masterplan breakwater* menjadi 0.022 m/s.

4.2.4 Hasil Pemodelan Arus Pada Musim Barat

Pola pergerakan arus di wilayah perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan pada musim barat kondisi eksisting saat pasang tertinggi dan surut terendah secara berturut-turut disajikan pada **Gambar 4. 12** dan **Gambar 4. 13**. Selanjutnya pola pergerakan arus pada kondisi *masterplan breakwater* saat pasang tertinggi dan surut terendah masing-masing terdapat pada **Gambar 4. 14** dan **Gambar 4. 15** sebagai berikut.



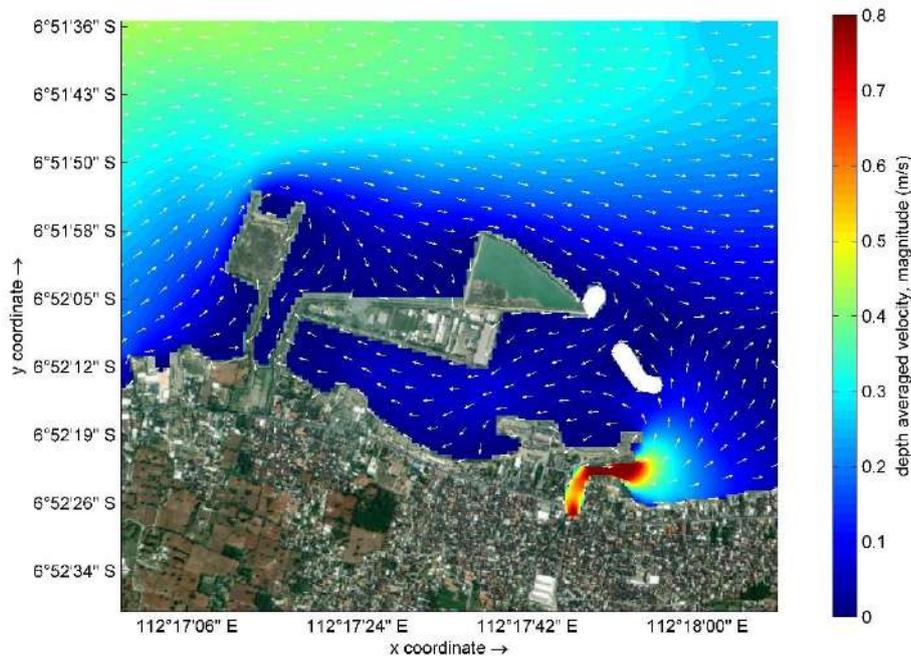
Gambar 4. 12. Pola Pergerakan Arus Musim Barat Pra *Breakwater* saat Pasang Tertinggi



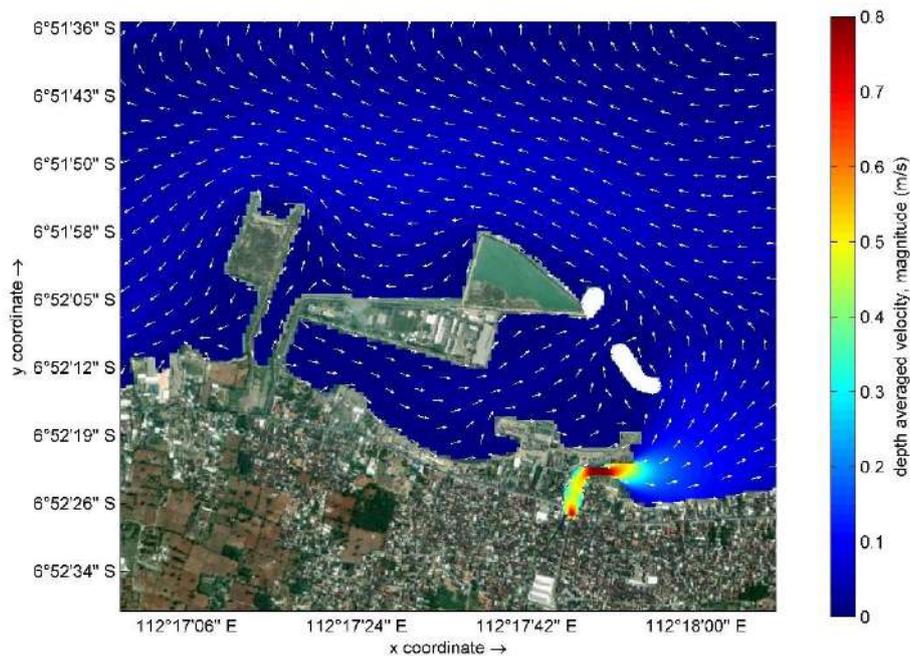
Gambar 4. 13. Pola Pergerakan Arus Musim Barat Pra *Breakwater* saat Surut Terendah

Berdasarkan pernyataan (Kahiking, 2022) pergerakan arus sangat dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin, efek coriolis dalam grid pemodelan yang digunakan menyebabkan vektor yang bergerak seakan

tampak bergerak ke arah kanan di belahan bumi bagian utara. Sedangkan pada belahan bumi selatan bergerak ke arah kiri. Meninjau pola pergerakan arus musim barat yang terjadi disekitar PPN Brondong Lamongan pada saat kondisi sebelum adanya struktur *breakwater* diketahui bahwa pergerakan arus dominan dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut, arah angin dari barat dan debit sungai kali asinan. Kecepatan arus yang terjadi saat pasang tertinggi pada 19 titik pengamatan yaitu antara 0.0050 m/s – 0.1039 m/s, dengan nilai kecepatan arus yang terbesar yaitu pada area luar kolam pelabuhan. Sedangkan kecepatan arus pada saat surut terendah diperoleh nilai antara 0 m/s – 0.1650 m/s dimana aliran dari sungai kali asinan memiliki nilai kecepatan arus yang tinggi pada saat pasang tertinggi maupun pada saat surut terendah.



Gambar 4. 14. Pola Pergerakan Arus Musim Barat *Masterplan Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 15. Pola Pergerakan Arus Musim Barat *Masterplan Breakwater* saat Surut Terendah

Seperti yang diketahui pada hasil pemodelan *masterplan breakwater* pada musim barat kecepatan arus pada saat pasang tertinggi pada 19 titik pengamatan yaitu antara 0.00065 m/s – 0.1033 m/s yang mana nilai kecepatan arus mengalami penurunan saat kondisi *masterplan breakwater*, kecepatan arus maksimum saat pasang tertinggi pada kondisi *masterplan breakwater* terjadi pada wilayah luar kolam pelabuhan. Apabila pada saat surut terendah kecepatan arus yang terjadi pada 19 titik pengamatan seperti yang ditampilkan pada gambar **Gambar 3. 3** yaitu antara 0.0009 m/s – 0.1650 m/s yang mana masih terdapat nilai terkecil dari kecepatan arus yang berada pada *masterplan breakwater* pada sisi utara pelabuhan baru. Kondisi kecepatan arus pada saat musim barat jauh lebih rendah daripada musim timur dikarenakan area pelabuhan baru memiliki struktur bangunan pantai yang cenderung terbuka ke sektor timur.

Tabel 4. 7. Kondisi Arus PPN Brondong Lamongan pada Musim Barat

Kondisi Arus Musim Barat			
Titik Pengamatan	Sub Area	Pra Breakwater	Masterplan Breakwater
		Kecepatan Rata-Rata (m/s)	
Ta	Area 1	0.0022	0.0022
Tb		0.0064	0.0063
Tc		0.0022	0.0022
Td		0.0057	0.0057
Te	Area 2	0.0335	0.0334
Tf		0.0326	0.0326
Tg		0.0150	0.0149
Th		0.0131	0.0130
Ti	Area 3	0.0207	0.0216
Tj		0.0251	0.0244
Tk		0.0326	0.0304
Tl		0.0272	0.0345
Tm	Area Breawater	0.0873	0.0550
Tn		0.0330	0.0011
To	Area 4	0.0294	0.0294
Tp		0.0490	0.0490
Tq		0.0422	0.0426
Tr		0.0872	0.0868
Ts		0.0679	0.0684

(Sumber : Olah Data, 2022)

Tabel 4. 8. Arus Rata-Rata di Masing-Masing Area Kolam Musim Barat

Area Kolam	Pra Breakwater	Masterplan Breakwater
Kecepatan Rata-rata (m/s)		
Area 1	0.0041	0.0041
Area 2	0.0236	0.0235
Area 3	0.0264	0.0277
Area Breakwater	0.0602	0.0280
Area 4	0.0551	0.0552

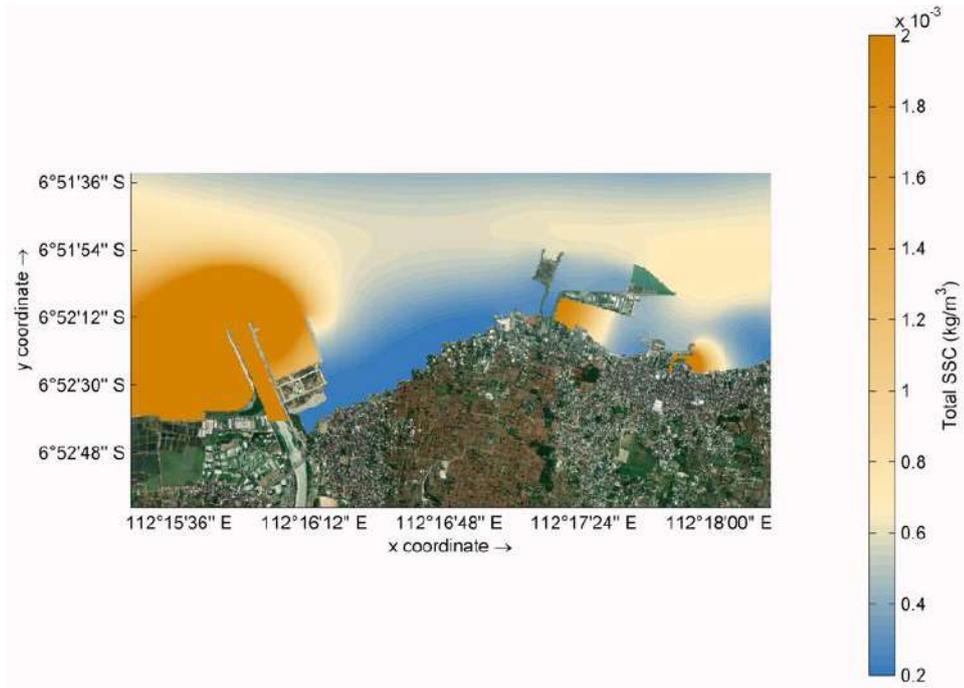
Kecepatan rata-rata arus pasang pada **Tabel 4. 7** dapat diketahui bahwasannya tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada area kolam 4 PPN Brondong Lamongan saat musim barat. Melihat titik pengamatan yang terdapat pada **Gambar 3. 3**, Kecepatan rata-rata arus pada saat pasang tertinggi dan saat surut terendah pada sekitar area *breakwater* yaitu titik Tn dan Tm mengalami penurunan. Saat kondisi eksisting nilai kecepatan arus rata-rata Tn yaitu sebesar 0.033 m/s dan ketika kondisi *masterplan*

breakwater kecepatan rata-rata arusnya sebesar 0.001 m/s. Sedangkan pada Tm saat kondisi eksisting memperoleh kecepatan rata-rata arus sebesar 0.087 m/s kemudian pada saat kondisi *masterplan breakwater* kecepatannya mengalami penurunan yaitu sebesar 0.055 m/s. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Rakhmawati, 2021) menjelaskan bahwa terdapatnya struktur bangunan *breakwater* disuatu area pesisir khususnya di area pelabuhan akan menunjukkan perubahan lajur gerak arus dan transpor sedimen yang masuk ke area kolam pelabuhan baik pada saat kondisi pasang maupun pada saat surut. Berdasarkan **Tabel 4. 8** dapat diketahui secara keseluruhan di titik pengamatan seperti pada **Gambar 3. 3**, rata-rata kecepatan arus saat musim barat pada kondisi eksisting mencapai 0.033 m/s, sedangkan pada saat kondisi *masterplan breakwater* menjadi 0.027 m/s.

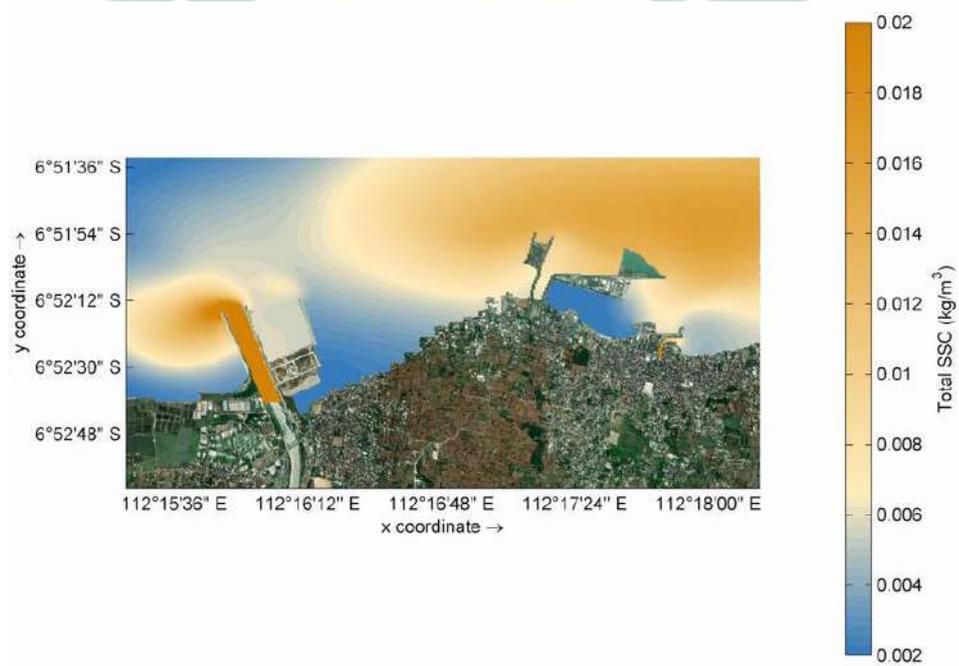
4.2.5 Hasil Laju Sedimentasi Musim Timur

A. Sebaran Sedimen Tersuspensi (SSC)

Hasil simulasi pemodelan transpor sedimen kohesif pada perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan saat pasang tertinggi dan surut terendah pada musim timur pada kondisi pra *breakwater* masing-masing ditampilkan pada **Gambar 4. 16** dan **Gambar 4. 17**. Berdasarkan pernyataan dalam karya ilmiah (Sulaiman, 2008) menjelaskan bahwa seringkali sedimen tersuspensi dapat bergabung menjadi satu untuk membentuk fraksi yang lebih besar. Proses penggabungan tersebut merupakan proses kohesive. dengan besarnya fraksi yang terjadi, maka semakin lama fraksi tersebut dapat lebih berat dari gaya apung. Apabila kondisi tersebut terjadi, maka akan terjadi pengendapan sedimen yang dapat menyebabkan sedimentasi di dasar perairan. Oleh karena itu, sedimen tersuspensi kohesif merupakan obyek yang harus diperhatikan dalam rencana rekayasa pelabuhan, dermaga, dan kanal.



Gambar 4. 16. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur Pra *Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 17. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur Pra *Breakwater* Saat Surut Terendah

Berdasarkan pada **Gambar 4. 16** dapat diketahui bahwa laju sebaran sedimen tersuspensi saat pasang tertinggi musim timur pra *breakwater* cenderung menyebar ke area kolam 1 yang berasal dari sungai kali asinan, hal tersebut dikarenakan sedimen tersuspensi yang dikeluarkan dari sungai

kali asinan pada musim timur mencapai $0,02771 \text{ kg/m}^3$ (lihat **Tabel 4. 4**) serta pada area kolam 1 merupakan wilayah kolam yang memiliki kedalaman yang lebih dangkal dari kolam yang lainnya. Laju sedimen mendominasi menuju ke arah barat pada saat pasang tertinggi musim timur. Menurut penelitian dari (Manalu et al., 2021) menjelaskan bahwa wilayah perairan yang dangkal memiliki tingkat pengadukan sedimen yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah yang dalam. Tidak hanya hal tersebut, aktivitas masyarakat yang berlalulalang di wilayah pelabuhan menggunakan perahu juga menyebabkan terangkatnya sedimen dasar dari sumber sehingga meningkatkan konsentrasi sedimen tersuspensi atau melayang.

Sedangkan pada gambar **Gambar 4. 17** pada saat kondisi eksisting surut terendah sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi berasal dari sungai bengawan solo pada musim timur mencapai 0.2771 kg/m^3 (lihat **Tabel 4. 4**), diketahui bahwa pola sebaran sedimen tersuspensi memiliki sebaran yang luas pada area kolam 4. Berdasarkan (Triatmodjo, 2016) menjelaskan bahwa sedimentasi dapat berasal dari wilayah daratan yang terbawa oleh aliran dari muara. Penelitian yang dilakukan oleh (Sarwono et al., 2012) floodway bengawan solo membawa konsentrasi sedimen tersuspensi relatif cukup tinggi. Sehingga, ketika surut musim timur konsentrasi di muara bengawan solo mampu menyebar ke area kolam 4 PPN Brondong Lamongan.

UTN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 4. 18. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur *Masterplan Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 19. Pola Sebaran Sedimen Musim Timur *Masterplan Breakwater* Saat Surut Terendah

Berdasarkan pada **Gambar 4. 18** dapat diketahui bahwa persebaran sedimen tersuspensi di area kolam pelabuhan mengalami penurunan konsentrasi sedimen setelah adanya *masterplan breakwater*, yang mana

pada saat pasang tertinggi kondisi eksisting musim timur konsentrasi banyak disekitar kolam 1 hingga $> 0,0017 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan pada kondisi *masterplan breakwater* menurun mencapai $> 0,0004 \text{ kg/m}^3$. Pada saat surut terendah laju sedimen tersuspensi di area luar kolam pelabuhan cenderung mengalami peningkatan konsentrasi sedimen karena akibat konsentrasi sedimen tersuspensi yang berasal dari sungai bengawan solo.

Arus yang berada pada kolam 1 memiliki kecepatan yang relatif kecil dibandingkan dengan kecepatan arus yang berada pada kolam yang lainnya saat musim timur. Menurut (Arvianto, 2016) menjelaskan bahwa arus merupakan salah satu faktor pengadukan sedimen dalam suatu perairan, arus yang bergerak menuju daratan saat pasang akan bertemu dengan aliran sungai yang membawa sedimen. Kondisi seperti itu menyebabkan nilai konsentrasi sedimen tersuspensi di sungai saat pasang lebih tinggi dibandingkan ketika surut. Hal tersebut juga sesuai dengan pernyataan (Triatmodjo, 2016) bahwa transport energi pada saat pasang lebih besar daripada saat surut.

Tabel 4. 9. Sebaran SSC Musim Timur di Kawasan Perairan PPN Brondong Lamongan

Stasiun	Sub Area	Total SSC (Kg/m ³)		
		Pra Breawater	<i>Masterplan Breakwater</i>	Selisih
Ta	Area 1	0.00018	0.00011	0.00007
Tb		0.00022	0.00013	0.00008
Tc		0.00017	0.00011	0.00006
Td		0.00020	0.00012	0.00007
Te	Area 2	0.00057	0.00045	0.00012
Tf		0.00288	0.00173	0.00116
Tg		0.00041	0.00038	0.00003
Th		0.00033	0.00020	0.00013
Ti	Area 3	0.00033	0.00237	-0.00204
Tj		0.00188	0.00179	0.00009
Tk		0.00357	0.00311	0.00046
Tl		0.00518	0.00458	0.00059
Tm	Area <i>Breakwater</i>	0.00611	0.00655	-0.00044
Tn		0.00861	0.00977	-0.00116
To	Area 4	0.00359	0.00470	-0.00111

Stasiun	Sub Area	Total SSC (Kg/m ³)		
		Pra Breawater	<i>Masterplan Breakwater</i>	Selisih
Tp	Area 4	0.00387	0.00521	-0.00133
Tq		0.00408	0.00590	-0.00182
Tr		0.01160	0.00936	0.00224
Ts		0.00731	0.00814	-0.00083

(Sumber : Olah Data, 2022)

Berdasarkan pada **Tabel 4. 9** menunjukkan total konsentrasi sedimen tersuspensi pada area kolam 1 mengalami penurunan pada musim timur dengan adanya *masterplan breakwater*. Hal tersebut dikarenakan titik pengamatan pada area kolam 1 mengalami penurunan kecepatan arus yang dapat menyebabkan pengendapan konsentrasi sedimen tersuspensi. Berbeda halnya pada titik pengamatan (Tm dan Tn) pada area struktur *masterplan breakwater* konsentrasi sedimen tersuspensi mengalami peningkatan akibat terhalangnya aliran massa air menuju ke kolam pelabuhan.

Kemudian kondisi konsentrasi sedimen tersuspensi pada musim timur pada area 4 dominan meningkat dikarenakan arus saat surut terendah membawa sedimen tersuspensi yang berasal dari bengawan solo menuju utara PPN Brondong Lamongan. Berdasarkan penelitian dari (Manalu et al., 2021) menjelaskan bahwa wilayah perairan yang dangkal memiliki tingkat pengadukan sedimen yang lebih besar dibandingkan dengan wilayah yang memiliki perairan yang dalam.

4.2.6 Hasil Laju Sedimentasi Musim Barat

Hasil simulasi pemodelan transpor sedimen kohesif pada perairan Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan saat pasang tertinggi dan surut terendah pada musim timur pada kondisi pra *breakwater* masing-masing ditampilkan pada **Gambar 4. 20** dan **Gambar 4. 21**.



Gambar 4. 20. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat Pra *Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 21. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat Pra *Breakwater* saat Surut Terendah

Dapat diketahui pada **Gambar 4. 20** bahwa pola sedimen tersuspensi saat pasang tertinggi musim barat pada kondisi eksisting lebih dominan menyebar ke area kolam 4, SSC tertinggi yaitu pada Tr dengan nilai sebesar $0,0203 \text{ kg/m}^3$ yang berasal dari muara sungai bengawan solo yang memiliki konsentrasi sebesar $0,2771 \text{ kg/m}^3$ (lihat **Tabel 4. 4**). Pada

saat musim barat debit arus di sungai bengawan solo memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan pada saat musim timur (lihat **Tabel 4. 3**). Sehingga menyebabkan transpor konsentrasi sedimen tersuspensi lebih meluas ke wilayah laut, konsentrasi sedimen tersuspensi kondisi eksisting di area kolam pelabuhan 1,2, dan 3 lebih sedikit pola persebarannya. Hal tersebut dikarenakan struktur eksisting PPN Brondong Lamongan cenderung terbuka pada sektor timur.

Selanjutnya diketahui pada **Gambar 4. 21** bahwa sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi saat surut terendah musim barat lebih banyak area kolam 3 di titik Tk dan Tl. Karena arah arus dominan ke utara menuju area 3 dengan debit arus sungai kali asinan yang lebih besar daripada musim timur. Menurut (Triatmodjo, 1996) Sedimen bisa berasal dari erosi garis pantai atau dari daratan yang dibawa oleh sungai akibat pergerakan partikel fluida yang mengalir menuju wilayah kolam pelabuhan. Penelitian yang dilakukan oleh (Kihara et al., 2012) menjelaskan bahwa konsentrasi sedimen suspensi dari muara saat surut akan teradveksi dekat dengan struktur kepala eksisting, yang mana pada kondisi tersebut konsentrasi sedimen banyak menyebar ke area kolam 3.



Gambar 4. 22. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat *Masterplan Breakwater* saat Pasang Tertinggi



Gambar 4. 23. Pola Sebaran Sedimen Musim Barat *Masterplan Breakwater* saat Surut Terendah

Pada **Gambar 4. 22** sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi pada saat pasang tertinggi di area kolam pelabuhan 1 dan 2 mengalami penurunan setelah adanya *masterplan breakwater*, yang mana pada saat pasang tertinggi kondisi eksisting musim barat konsentrasi sedimen di area kolam 1 mencapai $> 0,0016 \text{ kg/m}^3$. Sedangkan pada kondisi *masterplan breakwater* konsentrasi sedimen mengalami penurunan menjadi $> 0,0014 \text{ kg/m}^3$. Pada area kolam 2 kondisi eksisting konsentrasi sedimen yaitu $> 0,0073 \text{ kg/m}^3$, Sedangkan pada kondisi *masterplan breakwater* konsentrasi sedimen menurun mencapai $> 0,0072 \text{ kg/m}^3$. Pada saat surut terendah teramati bahwa laju konsentrasi sedimen tersuspensi di area kolam 3 mengalami peningkatan akibat konsentrasi dari sungai kali asinan yang terhambat oleh *masterplan breakwater*.

Berdasarkan (Wahab & Sukmara, 2022) menjelaskan bahwa pergerakan sedimen dalam air dapat terjadi apabila massa air (arus) cukup kuat untuk menggulingkan (*roll*) atau mengangkat (*lift*) sedimen, kecepatan kritis (*critical velocity*) dalam hal tersebut yang menjadi inisiasi terjadinya proses transpor sedimen. Menurut (Arvianto, 2016) menjelaskan bahwa

arus merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju sedimen dalam suatu perairan. Konsentrasi sedimen yang menyebar di PPN Brondong Lamongan pada musim barat memiliki nilai yang lebih besar dari TSS pada musim timur, hal tersebut dikarenakan debit sungai di sekitar PPN Brondong saat musim barat mempunyai nilai yang jauh lebih besar daripada saat musim timur.

Tabel 4. 10. Sebaran SSC Musim Barat di Kawasan Perairan PPN Brondong Lamongan

Stasiun	Sub Area	Total SSC (Kg/m ³)		
		Pra Breawater	<i>Masterplan Breakwater</i>	Selisih
Ta	Area 1	0.00031	0.00029	0.00002
Tb		0.00036	0.00034	0.00002
Tc		0.00030	0.00029	0.00002
Td		0.00035	0.00033	0.00002
Te	Area 2	0.00085	0.00082	0.00003
Tf		0.00451	0.00433	0.00018
Tg		0.00484	0.00458	0.00026
Th		0.00107	0.00095	0.00012
Ti	Area 3	0.00955	0.00965	-0.00010
Tj		0.00795	0.00808	-0.00013
Tk		0.02147	0.02220	-0.00073
Tl		0.01743	0.01796	-0.00053
Tm	Area Breakwater	0.02249	0.02423	-0.00174
Tn		0.02008	0.02120	-0.00113
To	Area 4	0.01139	0.01139	0.00000
Tp		0.01163	0.01164	-0.00001
Tq		0.01259	0.01266	-0.00006
Tr		0.02029	0.02026	0.00003
Ts		0.01736	0.01742	-0.00006

(Sumber : Olah Data, 2022)

Pada **Tabel 4. 10** menyajikan rata-rata konsentrasi sedimen tersuspensi di wilayah Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan. Pada titik pengamatan Ta – Th yang merupakan area kolam pelabuhan 1 dan 2 terjadi penurunan konsentrasi setelah adanya *masterplan breakwater*. Ketika pra *breakwater* diperoleh nilai yang berkisar 0,00030 – 0,00484 kg/m³, Sementara pada kondisi *masterplan breakwater* nilainya berkisar 0,00029 – 0,000458 kg/m³. Sedangkan pada area kolam 3 pada titik

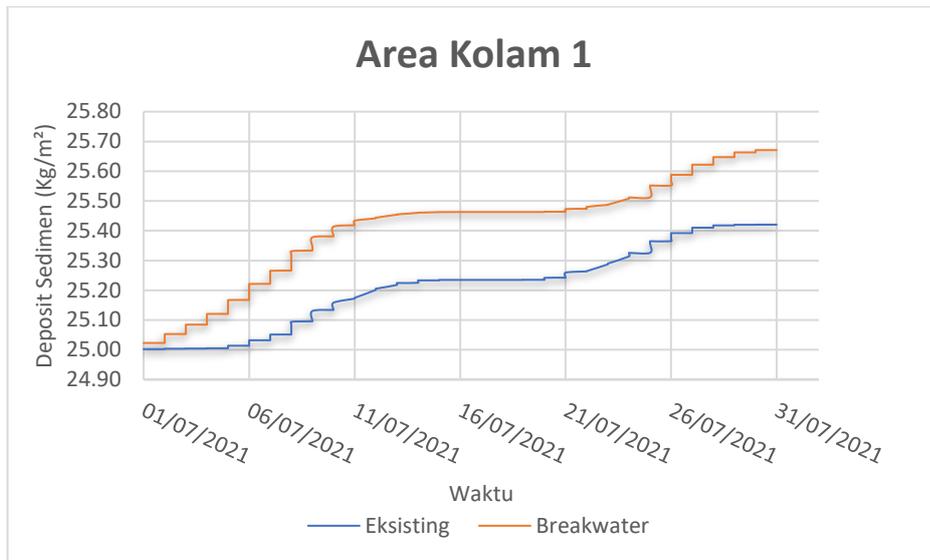
Ti – Tl diperoleh peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi, demikian juga dengan titik pengamatan Tn dan Tm. Peningkatan ssc pada area kolam 3 diakibatkan masih adanya celah masuk antara *masterplan breakwater* sisi utara dan timur, selain itu apabila meninjau hasil model pada **Gambar 4. 23** sungai kali asinan banyak mengangkut konsentrasi ke dalam area kolam 3.

Kemudian pada titik pengamatan area *masterplan breakwater* dapat diketahui bahwa terjadi pengendapan pada Tn dengan selisih konsentrasi yang tidak terlampaui jauh antara musim timur dengan musim barat. *Masterplan breakwater* sisi utara tersebut berpotensi besar dalam meminimalisir terjadinya transpor atau masuknya sedimen dari sungai bengawan solo yang memiliki debit sungai yang tinggi. Laju sedimen di area luar kolam pelabuhan saat musim barat baik kondisi eksisting maupun *masterplan breakwater* selama satu bulan relatif kecil mengalami perubahan konsentrasi sedimen. Peristiwa tersebut dikarenakan perilaku arus pasang surut yang terjadi pada titik pengamatan yang ada di area luar kolam pelabuhan saat musim barat memiliki nilai kecepatan yang relatif konstan.

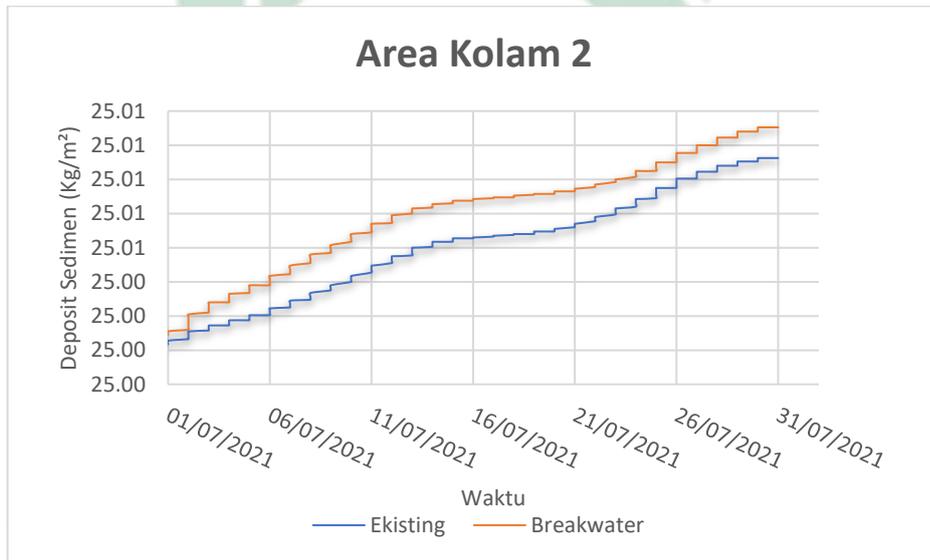
B. Sebaran Deposit Sedimen

Hasil simulasi pemodelan *mass of sediment settling* atau deposit sedimen selama periode 1 bulan dengan faktor skala morfologi 6 di musim barat dan 6 di musim timur dapat memperoleh nilai massa sedimen per satuan luas yang dapat mempengaruhi perubahan batimetri akhir dari model dalam parameter morfologi dasar. Terdapat pada **Gambar 4. 24** yang menunjukkan kondisi deposit sedimen di area kolam PPN Brondong Lamongan.

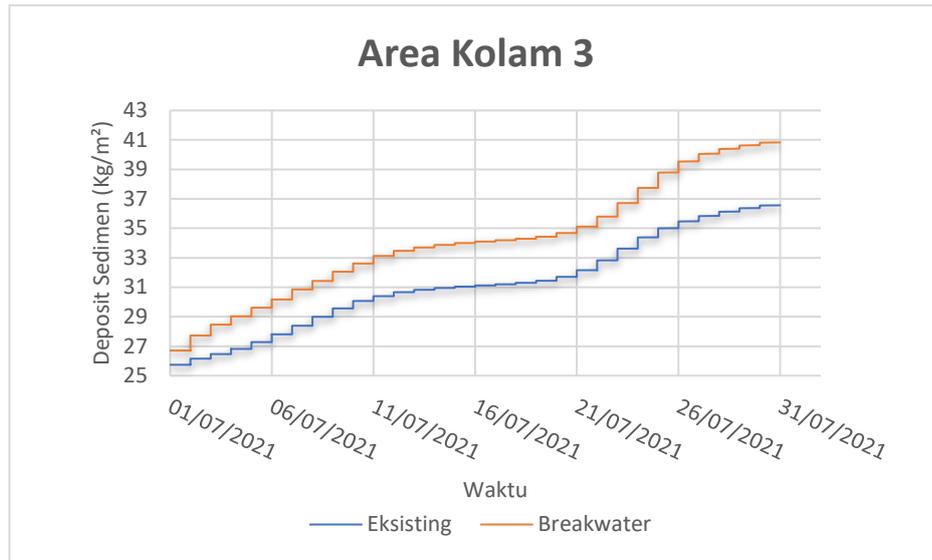
a



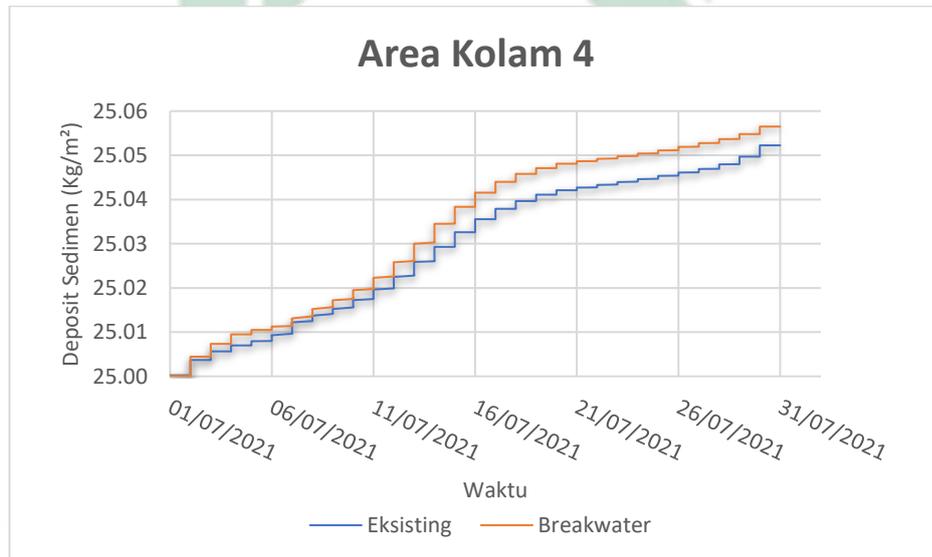
b



c



d



Gambar 4. 24. Mass of Sediment Area 1 (a). Area 2 (b). Area 3 (c). Area 4 (d)

Dapat diketahui pada **Gambar 4. 24** bagian (a) bahwa kondisi deposit sedimen di area kolam 1 mengalami peningkatan saat terdapat *masterplan breakwater*. Hal tersebut diakibatkan karena pada dua musim di pemodelan ini memiliki kecepatan arus pasang yang lebih dominan daripada arus saat kondisi surut, serta ketika kondisi *masterplan breakwater* masih terdapat sisa deposit sedimen di area kolam PPN Brondong Lamongan. Berdasarkan (Triatmodjo, 1996) Sedimen dapat berasal dari erosi garis pantai atau dari daratan yang terbawa oleh sungai akibat pergerakan partikel fluida yang mengalir menuju wilayah kolam pelabuhan. Penelitian yang

dilakukan oleh (Kihara et al., 2012) menjelaskan bahwa deposit sedimen dari muara saat surut akan teradveksi dekat dengan struktur kepala eksisting, yang mana pada kondisi tersebut konsentrasi sedimen banyak mengalami pengendapan di area kolam 3.

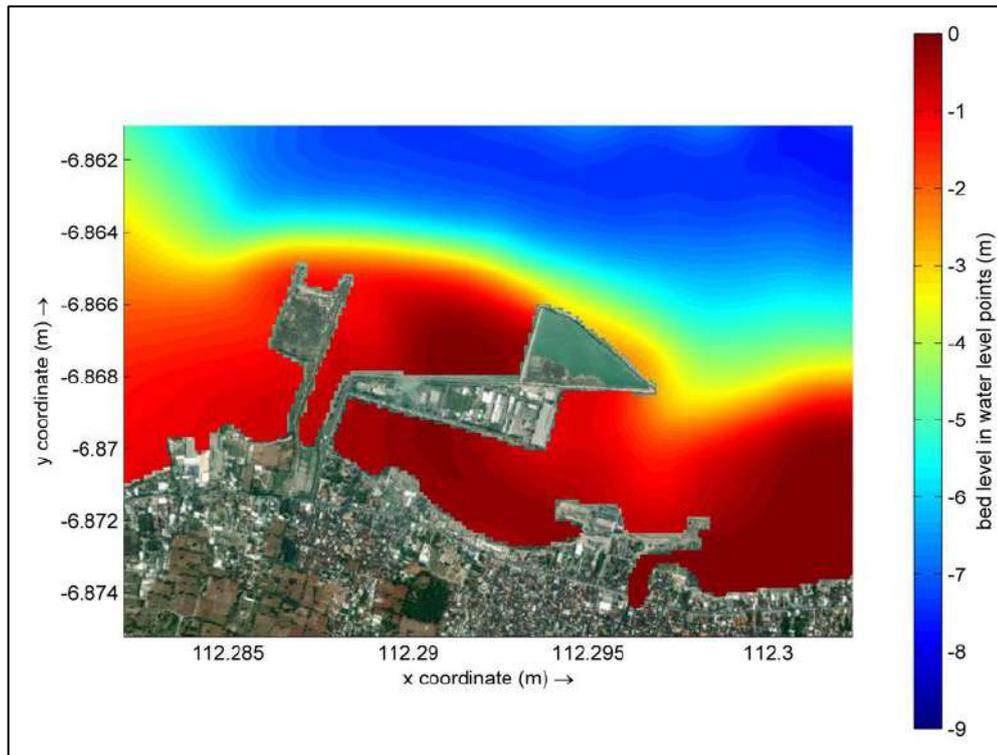
Akumulasi deposit sedimen saat kondisi eksisting dengan *masterplan breakwater* di area kolam 1 memiliki perbedaan sebesar 0.198 kg/m². Area kolam 2 merupakan area kolam yang terletak dibagian tengah yang berdasarkan arus pasang surut yang terjadi saat musim barat dan musim timur memiliki peningkatan kecepatan, sehingga mempunyai nilai akumulasi deposit sedimen yang kecil yaitu sebesar 0,002 kg/m². Pola arus surut yang melemah saat kondisi *masterplan breakwater* mengakibatkan deposit sedimen di area kolam 3 memiliki nilai terbesar dibandingkan area kolam yang lainnya yaitu mencapai 2,912 kg/m². Pengaruh laju sedimen yang berada di area kolam 4 diakibatkan karena arus pasang yang dominan pada musim barat dari sungai bengawan solo dan mengalami penurunan arus saat surut pada saat musim timur yang mengakibatkan terjadinya deposit sedimen sekitar 0,004 kg/m².

4.2.7 Perubahan Morfologi Dasar Area Kolam PPN Brondong Lamongan

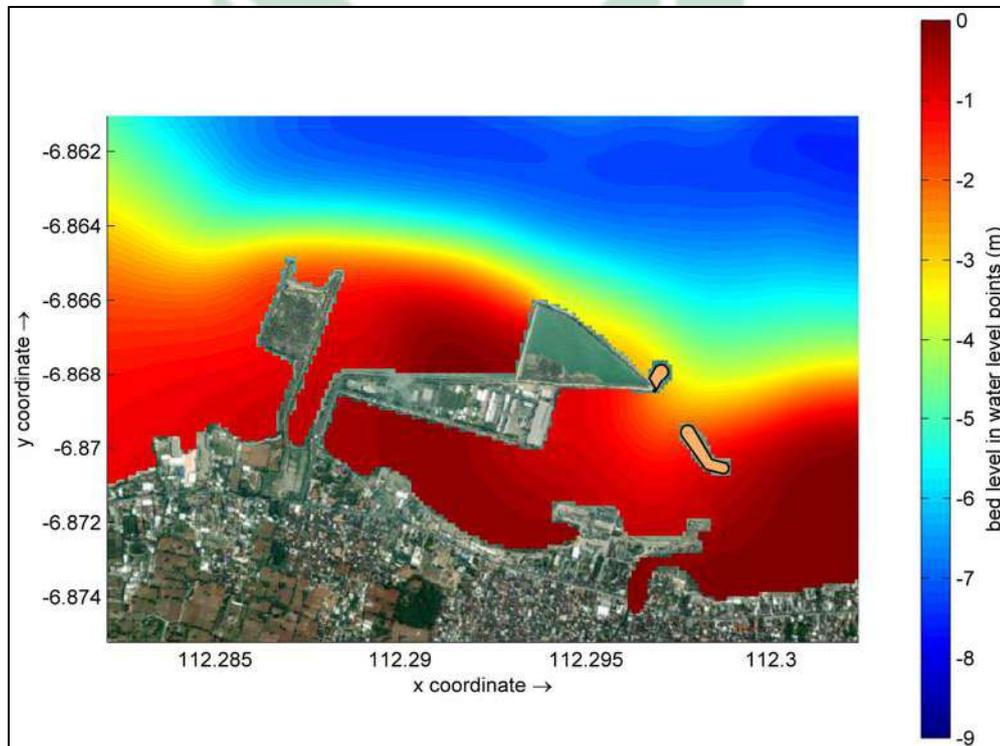
Perubahan morfologi dasar perairan dapat terjadi karena faktor arus pasang surut yang mentranspor sedimen sehingga masuk ke area kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Lamongan. Berdasarkan (Sulaiman, 2008) menjelaskan bahwa perubahan morfologi sangat dipengaruhi oleh proses sedimentasi dan akresi. Peningkatan faktor skala morfologi pada software *delft3d* dapat mempengaruhi perubahan tingkat ketebalan dasar secara dinamis dalam skala komputasi dengan hanya mengalikan flokulasi erosi dan sedimentasi dari dasar ke dalam aliran. Peningkatan fluks dapat meningkat karena faktor skala morfologi, namun tidak dengan konsentrasi sedimen yang tersuspensi (FLOW, 2020).

Perubahan morfologi dasar menggunakan faktor skala morfologi 6 pada musim barat dan 6 pada musim timur dengan waktu pemodelan selama satu bulan. Adapun visualisasi skala warna kondisi morfologi dasar akhir

kondisi eksisting dan *breakwater* seperti yang disajikan pada **Gambar 4. 25** dan **Gambar 4. 26**.



Gambar 4. 25. Kondisi Awal Kedalaman Model Eksisting



Gambar 4. 26. Kondisi Akhir Kedalaman Model *Breakwater*

Berdasarkan gradasi warna, kedalaman perairan saat model awal di area kolam pelabuhan yang sering dilakukan aktivitas bongkar muat hasil perikanan menunjukkan warna merah pekat, kondisi tersebut dapat diartikan bahwa terjadi pendangkalan yang disebabkan oleh faktor arus pasang surut yang mentranspor sedimen sehingga menyebabkan peristiwa flokulasi. Berdasarkan (Marini & Djoko, 2022) menjelaskan bahwa proses yang bertujuan untuk mempercepat penggabungan partikel-partikel didalam siklus transpor sedimen dari agregat yang besar merupakan pengertian dari flokulasi, yang mana fenomena tersebut dapat menyebabkan pendangkalan karena pengaruh sedimentasi di area kolam pelabuhan. Sedangkan dapat diketahui perbedaan kedalaman perairan saat model *breakwater* di area kolam pelabuhan, arus pasang surut saat musim barat dan musim timur yang membawa fluks sedimen ke area sandar kapal dapat ternetralisir lajunya oleh keberadaan *masterplan breakwater*.

Tabel 4. 11. Perubahan Morfologi Kondisi Eksisting dan *Breakwater* di 4 Area Kolam PPN

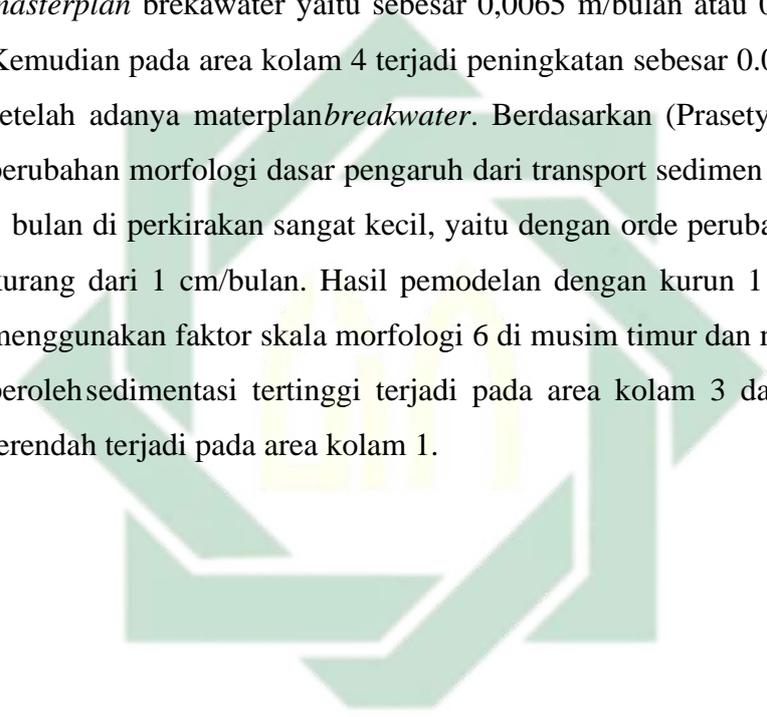
Brondong			
Morfologi Akhir			
Kondisi	Area ke-	Perubahan Morfologi (m/bulan)	Perubahan Morfologi (cm/bulan)
Eksisting	Area 1	0.0006	0.0588
	Area 2	0.0001	0.0082
	Area 3	0.0130	1.2986
	Area 4	0.0004	0.0366
Masterplan	Area 1	0.0010	0.0977
	Area 2	0.0001	0.0085
	Area 3	0.0195	1.9498
	Area 4	0.0004	0.0381

(Sumber : Olah Data, 2022)

Perubahan morfologi dasar berdasarkan garis penampang melintang di setiap area kolam PPN Brondong Lamongan pada hasil akhir running pemodelan diperoleh perbedaan seperti yang terdapat pada Tabel 4. 9 diatas. Diketahui apabila masih belum adanya *masterplan breakwater* di area kolam 1, perubahan morfologi dasar akibat transport sedimen yang terjadi selama kurun 1 bulan yaitu 0,0006 m/bulan atau 0,058 cm/bulan di area kolam 1. Jika telah terdapat materplan *breakwater* perubahan

morfologi dasar yang terjadi di area kolam 1 mengalami sedimentasi sebesar 0,038 cm/bulan.

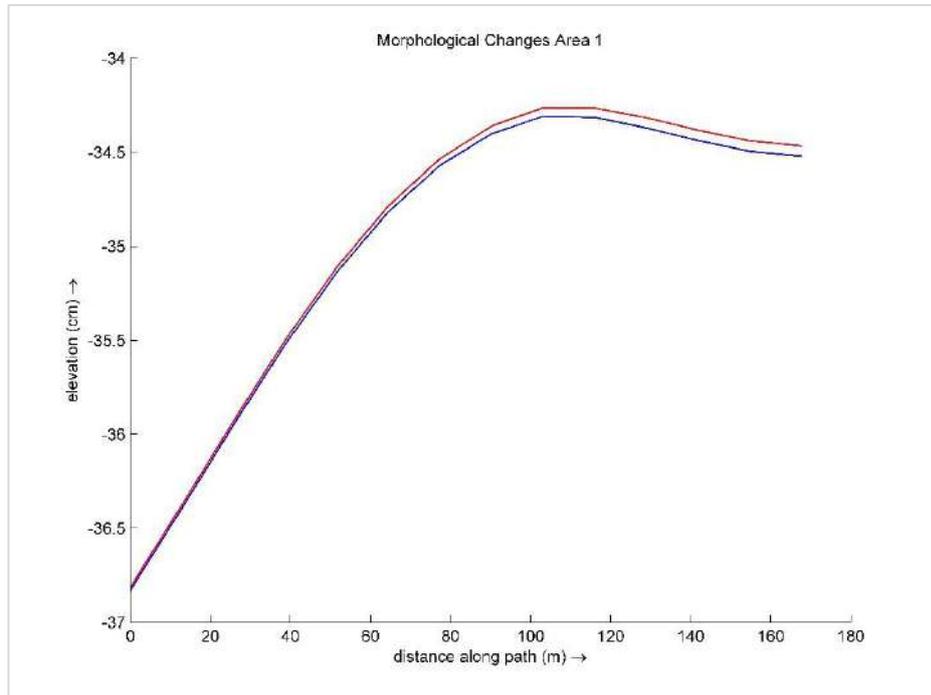
Selanjutnya pada area kolam 2 memiliki perbedaan perubahan morfologi dasarsebesar 0,0003 cm/bulan yang mana saat kondisi eksisting mencapai 0,0001 m/bulan atau 0,0082 cm/bulan, sedangkan pada saat kondisi *breakwater* mencapai 0,0085 cm/bulan. Pada penampang melintang area kolam 3 diperoleh peningkatan morfologi dasar setelah adanya *masterplan* brekawater yaitu sebesar 0,0065 m/bulan atau 0,65 cm/bulan. Kemudian pada area kolam 4 terjadi peningkatan sebesar 0.0015 cm/bulan setelah adanya materplan*breakwater*. Berdasarkan (Prasetyo, 2021) orde perubahan morfologi dasar pengaruh dari transport sedimen kohesif dalam 1 bulan di perkirakan sangat kecil, yaitu dengan orde perubahan ketebalan kurang dari 1 cm/bulan. Hasil pemodelan dengan kurun 1 bulan dengan menggunakan faktor skala morfologi 6 di musim timur dan musim barat di peroleh sedimentasi tertinggi terjadi pada area kolam 3 dan sedimentasi terendah terjadi pada area kolam 1.



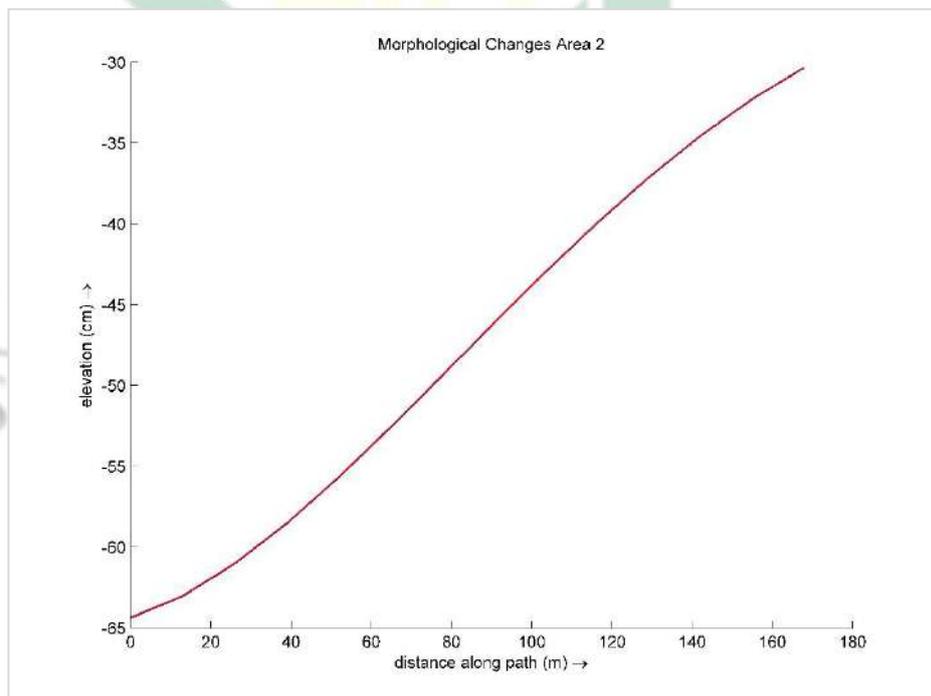
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

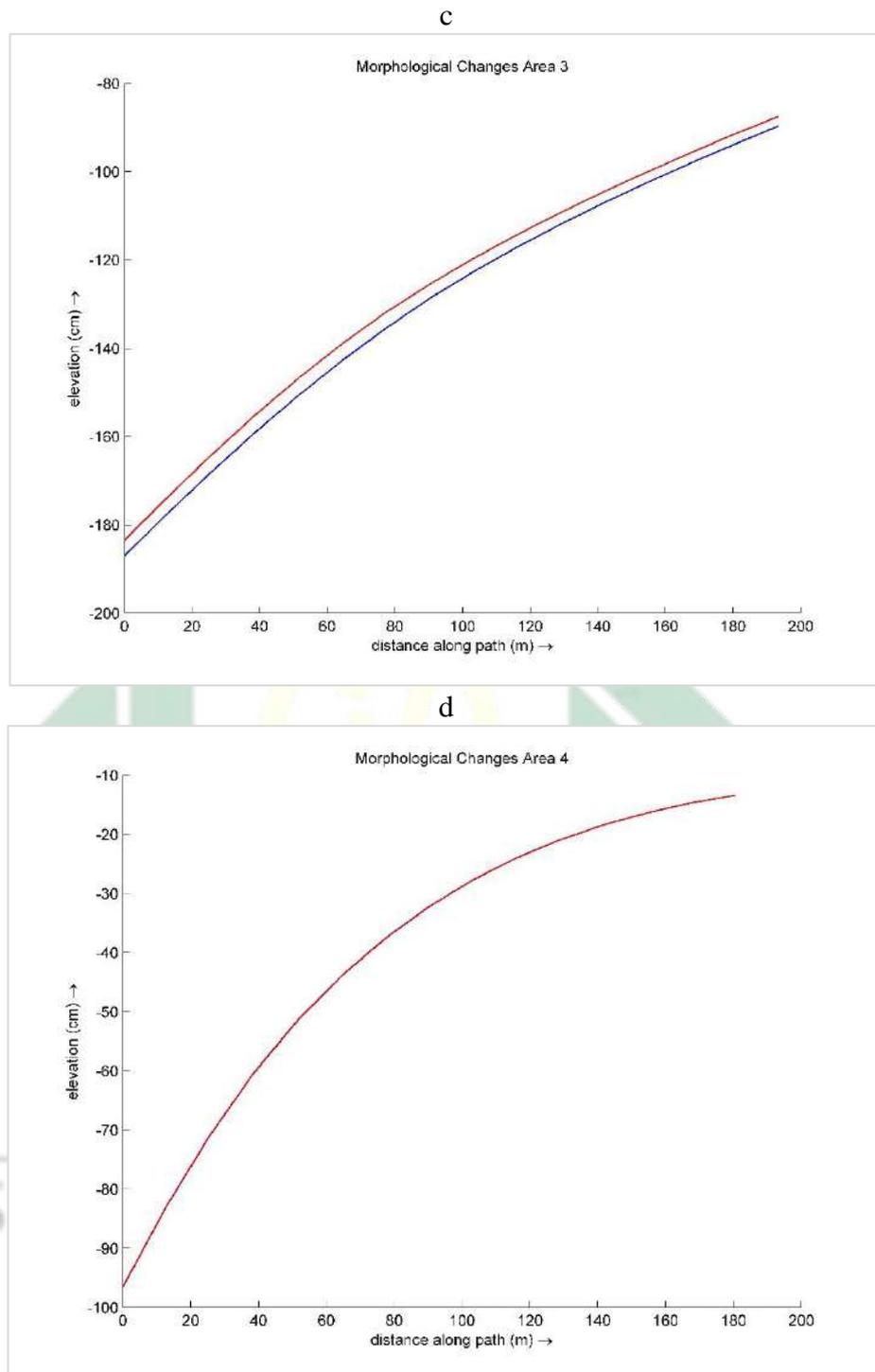
— : Eksisting
— : *Masterplan Breakwater*

a



b





Gambar 4. 27. Tampilan *Cross Section* Perubahan Morfologi Area Kolam 1 (a). Kolam 2 (b). Kolam 3 (c). Kolam 4 (d)

Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui bahwa perubahan elevasi pada tampang melintang di area kolam 1 sisi timur mengalami peningkatan. Namun perubahan nilai tampang melintang di area kolam 1 yang tidak terlalu signifikan terhadap adanya *masterplan breakwater*, hal tersebut tidak

jauh berbeda dengan perubahan di area kolam 2 yang memiliki selisih lebih kecil akibat pengaruh arus pasut yang mempunyai kecepatan lebih tinggi saat kondisi akhir pemodelan sehingga memperkecil transpor deposit sedimen yaitu $0,002 \text{ kg/m}^2$. Maka dari itu menyebabkan selisih tingkat perubahan morfologi di kolam 2 sebesar $0,0003 \text{ cm/bulan}$.

Berdasarkan hasil simulasi selama 1 bulan menggunakan faktor skala morfologi 6 di dua musim, jumlah sedimen yang masuk saat kondisi eksisting di kolam 3 sebanyak $31,12 \text{ kg/m}^2$ dan jumlah deposit sedimen yang masuk saat kondisi *breakwater* sebanyak $34,03 \text{ kg/m}^2$, sehingga menyebabkan perbedaan ketebalan deposit sedimen saat eksisting dengan *breakwater* sebesar $0,651 \text{ cm/bulan}$. Kondisi deposit saat *masterplan breakwater* lebih besar daripada saat kondisi eksisting, hal tersebut dikarenakan melemahnya arus di area kolam PPN. Pada area kolam 4 terdapat sedimen yang terdeposit pada area *breakwater* sisi timur, jumlah deposit sedimen yang masuk di area kolam 4 saat kondisi eksisting sebanyak $25,02 \text{ kg/m}^2$ dan jumlah sedimen yang masuk saat kondisi *breakwater* yaitu sebanyak $25,03 \text{ kg/m}^2$. Sehingga perubahan ketebalan dasar mencapai $0,0015 \text{ cm/bulan}$. Nilai ketebalan terbesar terjadi pada area kolam 3 saat kondisi *breakwater* yang mengalami peningkatan morfologi dasar hingga $1,94 \text{ cm/bulan}$. Sedangkan perubahan morfologi terkecil terjadi pada area kolam 2 kondisi eksisting sebesar $0,008 \text{ cm/bulan}$.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

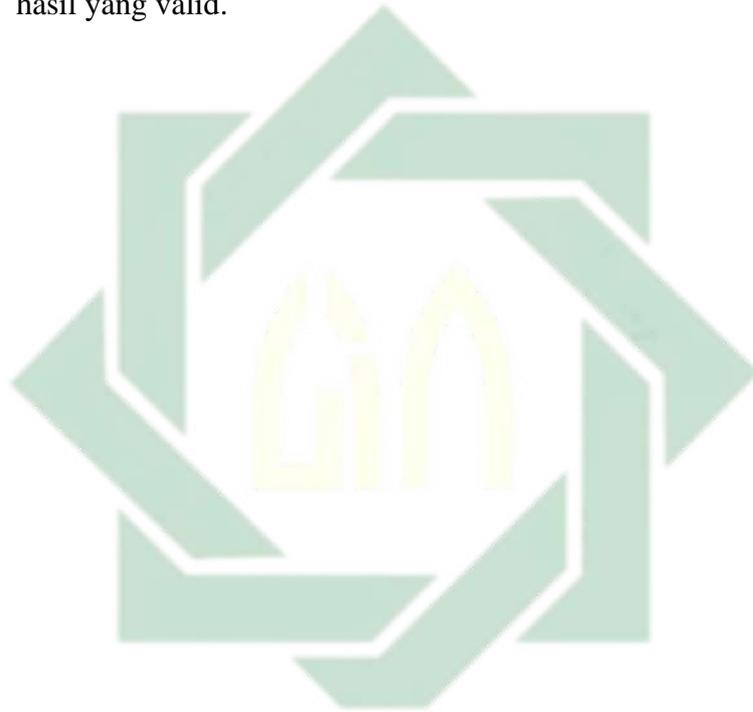
1. Kondisi *masterplan breakwater* mengakibatkan terjadinya perubahan kecepatan arus di area kolam pelabuhan 1,2, dan 3. Perubahan arus tersebut diakibatkan oleh *breakwater* sisi timur saat pasang tertinggi yang mengalami penyempitan ruang saat masuk ke area kolam 2 dan 3, serta debit sungai kaliasinan yang tinggi saat pasang. Sehingga mengakibatkan peningkatan arus. Saat musim barat terjadi penurunan arus pada area kolam 1, 2, dan 3, hal tersebut diakibatkan karena adanya *masterplan breakwater* sisi utara dan timur. Perubahan yang tidak terlalu signifikan terjadi pada area kolam 4.
2. Kondisi *masterplan breakwater* menunjukkan terjadinya perubahan sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi baik pada musim timur ataupun musim barat. Saat musim timur pada kolam 1,2, dan 3 terjadi penurunan, sedangkan pada kolam 4 mengalami peningkatan. Saat musim barat pada kolam 1 dan 2 terjadi penurunan, sedangkan pada kolam 3 dan 4 mengalami peningkatan. Hal tersebut dapat terjadi karena pengaruh perubahan pola arus pasut dan struktur *masterplan* serta debit muara sungai yang terdapat di sekitar PPN Brondong Lamongan.
3. Perubahan morfologi dasar selama satu bulan dengan menggunakan faktor skala morfologi 6 akibat *masterplan breakwater* terpisah terlihat peristiwa sedimentasi terbesar terjadi pada area kolam 3 dengan perubahan morfologi dasar mencapai 1,94 cm/bulan pada kondisi *masterplan breakwater*, dan perubahan morfologi dasar terkecil terjadi pada area kolam 2 saat kondisi ekisting yaitu sebesar 0,008 cm/bulan.

5.2 Saran

Saran yang dapat penulis berikan sebagai bahan pertimbangan dan studi lebih lanjut pada penelitian berikutnya adalah :

1. Melakukan pengujian variabel lingkungan seperti data diameter butiran dan konsentrasi sedimen di beberapa titik pada lokasi studi yang dapat digunakan sebagai data validasi pemodelan.

2. Perlu tersedianya data pengukuran arus di lokasi penelitian untuk memperoleh hasil pemodelan pola peregrakan arus yang lebih akurat serta bisa juga dijadikan sebagai kalibrasi simulasi model.
3. Perubahan arus dan sedimentasi pada kondisi *masterplan breakwater* akan berpengaruh terhadap proses morfodinamika di lokasi studi, oleh karena itu perlu dilakukan analisis dengan waktu simulasi yang lebih lama supaya dapat mengetahui karakteristik daerah penelitian dengan hasil yang valid.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Alfarisi, A., & Suciaty, F. (2021). *Perubahan Pola Hidrodinamika Dan Sedimentasi Akibat Adanya Breakwater Di Pantai Glayem*. 19–30.
- Arbimusa. (2016). *Studi Karakteristik Sedimen Dan Morfologi Dasar Muara Sungai Jeneberang*.
- Arvianto, S. E. (2016). Pengaruh Arus Terhadap Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Muara Sungai Silugonggo Kabupaten Pati. *Jurnal Oseanografi*, 3(2), 80–91. <https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355> <http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731> <http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269> <http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>
- Atmadipoera, A. S., & Hasanah, P. (2018). Karakteristik Dan Variabilitas Arlindo Flores Dan Koherensinya Dengan Arus Pantai Selatan Jawa. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(2), 537–556.
- Aziz, M. F. (2006). Gerak Air Dilaut. *Oseana*, 9–21.
- Brahmana, E. T. (2020). *Kecamatan Brondong Dalam Angka 2020*.
- Brakenhoff, L., Schrijvershof, R., Werf, J. Van Der, & Grasmeyer, B. (2020). From Ripples To Large-Scale Sand Transport : The Effects Of Bedform-Related Roughness On Hydrodynamics And Sediment Transport Patterns In Delft3D. *Journal Of Marine Science And Engineering*, 08, 1–25. <https://doi.org/10.3390/jmse8110892>
- BSN. (2014). *Pengamatan Pasang Surut: Vol. SNI 7963* (Issue Jakarta).
- CEM. (2002). *Coastal Sedimen Properties*.
- Delft3D. (2020). *Delft 3D - Functional Specifications*.
- Dronkers, L. (1967). *Calculation Of Tides In Rivers And Coastal Water*.
- Eleisia, K., & Pratama, I. T. (2021). *Studi Parametrik Kondisi Batas Melalui Simulasi Numerik Uji Pembebanan Tiang Tunggal*. November.
- FLOW, D. (2020). *3D/2D Modelling Suite For Integral Water Solutions*. Deltares. <https://www.deltares.nl/software>
- Franto, N., Astjario, P., & Bachtiar, H. (2013). *Kondisi Arus Pasang Surut Dan Erosi-Sedimentasi Di Sekitar Garis Pantai Depan Pltu Tarahan Lampung Menggunakan Delft 3d Versi 3.28*. 11(1), 39–54.
- Fredose, J. Dan R. (1992). *Advanced Series On Ocean Engineering*.
- Gallerano, F., Palleschi, F., & Iele, B. (2020). Numerical Study Over The Effects Of A Designed Submerged *Breakwater* On The Coastal Sediment Transport In The Pescara Harbour (Italy). *Journal Of Marine Science Adn Engineering*, 8, 1–23.
- Giamurti, A. S. R., Bambang, N. A., & Fitri, A. D. P. (2015). Analisis Pemasaran Hasil Tangkapan Kakap Merah (*Lutjanus Sp.*) Di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong, Lamongan, Jawa Timur. *Journal Of Fisheries Resources Utilization Management And Technology Volume*, 4(4), 8–17.
- Gordon, A. L. (1986). Eindrücke Von Der I. Studienfahrt Der Zentralen Schulbaukommission Der DDR. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 91(21), 5037–5046.
- Hakiki, I. A., Sembiring, L. E., Nur, C., Nugroho, R., Pantai, T., Pupr, K., Gilimanuk, J., Km, S., Perencanaan, S., Sungai, T., & Pupr, K. (2021). *Pemodelan Numerik Angkutan Sedimen Kohesif Sedimentation Analysis Of Segara Anakan Lagoon Using Cohesive Sediment Transport Numerical*

- Modelling*. 12(1), 1–14.
- Husna, F. N. (2018). *Pemodelan Sedimen Transpor Dan Morfologi Perairan Ujung Pangkah*.
- Ibrahim. (2018). *Profil Ppn Brondong 2018*. KKPDJPT.
- Ilahude, A. G. (2002). *Kamus Oseanografi Inggris-Indonesia*.
- Kahiking, E. C. (2022). Project Based Learning Pada Literasi Sains Berbasis Budaya Lokal Bahari Dengan Penggunaan Alat Wind Detection. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(1), 177–198. <https://doi.org/10.26811/Didaktika.V6i1.428>
- Kihara, N., Fujii, N., & Matsuyama, M. (2012). Three-Dimensional Sediment Transport Processes On Tsunami-Induced Topography Changes In A Harbor. *Earth, Planets And Space*, 64(10), 787–797. <https://doi.org/10.5047/Eps.2011.05.036>
- Korto, J. (2015). Analisis Pasang Surut Di Pantai Nuangan (Desa Iyok) Boltim Dengan Metode Admiralty. *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 3 No.
- Manalu, J. P., Subardjo, P., Marwoto, J., Setiyono, H., & Haryo, D. (2021). *Sebaran Material Padatan Tersuspensi Secara Horizontal Dan Vertikal Di Muara Sungai Jajar Berdasarkan Penjelasan Di Atas Penelitian Ini Dilakukan Untuk Mengetahui Nilai Konsentrasi Material Padatan Tersuspensi Serta Mengetahui Pengaruh Arus Terhadap Distr.* 03(03), 72–82.
- Marini, A., & Djoko, B. (2022). *Uprating Instalasi Pengolahan Air Minum Konstruksi Baja*. 11(1), 1–6.
- Mojabi, S. M. (1970). Doctoral Thesis. *Journal Of Engineering Mathematics*, 4(2), 186.
- Pardede, F. (2016). *Pengaruh Fenomena La Nina Terhadap Konsentrasi Klorofil-A Dengan Menggunakan Citra Aqua Modis (Studi Kasus : Perairan Selatan Kabupaten Malang)*. 1–6.
- Persub. (2020). Organisasi Dan Tata Kerja Unit Pelaksana Teknis Di Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. *Data Base Peraturan JDIH BPK RI*, 89. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/159627/Permen-Pupr-No-16-Tahun-2020>
- Poerbondono, & Djunasjah, E. (2005). Survei Hidrografi. In (R.Herlina, Ed.) (Cetakan Pe). Bandung, Indonesia: PT. Refika Aditama. PT. Refika Aditama.
- Prasetyo, A. (2021). *Advis Teknis Kajian Desain Breakwater Ppn Brondong Lamongan, Jawa Timur, Indonesia*.
- PUPR, 2021. (2021). *Advis Teknis Review Desain Pembangunan Breakwater PPN Brondong Lamongan, Provinsi Jawa Timur*.
- Putra, R. Y., Indrayanti, E., Ismunarti, D. H., Handoyo, G., & Ismanto, A. (2021). Pola Arus Perairan Kemujan, Karimunjawa Pada Musim Peralihan II Dengan Menggunakan Model Delft3D. *Indonesian Journal Of Oceanography*, 3(3), 306–321. <https://doi.org/10.14710/Ijoce.V3i3.12141>
- QUICKIN. (2020). *3D/2D Modelling Suite For Integral Water Solutions*. Deltares. <https://www.deltares.nl/software%0acopyright>
- Rakhmawati, A. L. (2021). Sedimentation And Longshore Current Simulation With Delft3D Software In Rejoso Shoreline Sedimentation And Longshore Current Simulation With Delft3D Software In Rejoso Shoreline. *IOP Conf. Series: Earth And Environmental Science* 698, 1–14. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/698/1/012021>

- Rampengan, R. M. (2012). *Amplitudo Konstanta Pasang Surut M2, S2, K1, Dan O1*.
- Ranasinghe. (2006). Shoreline Response To Submerged Structures: A Review. *Coastal Engineering*, 53(1), 65–79.
- RGFGRID. (2020). *DELFT 3D F M S*. Deltares.
- Rohman, Y. A. D. G. P. Dan K. (2021). Analisa Pendangkalan Jalur Pelayaran Menggunakan Pemodelan Hidrodinamika 3D (Studi Kasus : Perairan Pelabuhan PT Petrokimia Gresik) Yoga Arif Rohman , Danar Guruh Pratomo *, Khomsin Pendahuluan Kabupaten Gresik Merupakan Salah Satu Daerah Yang Terdapat. *Journal Of Geodesy And Geomatics*, 17(1), 119–132.
- Ryanto, N. A., Wiyono, R. U. A., & Hidayah, E. (2022). Studi Peramalan Pasang Surut Di Pesisir Pantai Pancer Kecamatan Puger, Kabupaten Jember. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 14(1), 1–13.
- Sarwono, Harianto, & Suprianto, I. (2012). Analisis Angkutan Sedimen Floodway Sedayu Lawas Di Bengawan Solo 10 Tahun Pasca Pelaksanaan. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 3, 183–196. <https://jurnalth.pusair-pu.go.id/index.php/JTH/Article/View/271>
- Short, D. . (1999). *Handbooks Of Beach & Shoreface Morphology*.
- Soepangkat. (1994). *Pengantar Meteorologi*.
- Sorensen, R. B. (2006). *Basic Coastal Engineering Third Edition*.
- Sulaiman, A. Dan S. (2008). *Pendahuluan Geomorfologi Pantai Kuantitatif* (Issue July).
- Surinati, D. (2007). Pasang Surut Dan Energinya. *Oseana*, XXXII, No.
- Suteja, Y., Purba, M., & Atmadipoera, A. S. (2015). Turbulent Mixing In Ombai Strait. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1). <https://doi.org/10.28930/jitkt.v7i1.9778>
- Tambunan, Y. F. B., Buana, I. G. N. S., & Nur, H. I. (2021). Model Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan Perikanan Studi Kasus: Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60733>
- Tanto, T. Al, & Hartanto, T. (2021). Sebaran Arus Geostropik Dan Transpor Massa Air Di Perairan Pulau Sumba, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Geologi Kelautan*, 19(2), 72–84. <https://doi.org/10.32693/jgk.19.2.2021.691>
- Triatmodjo, B. (1996). *Teknik Pantai* (Beta Offse).
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*.
- Triatmodjo, B. (2016). *Teknik Pantai* (VIII).
- UNESCO. (1981). The Practical Salinity Scale 1978 And The International Equation Of State Of Seawater 1980. *Tech. Rep. 36, UNESCO, Tenth Report Of The Joint Panel On Oceanographic Tables And Standards (1981)*, (JPOTS), Sidney, B.C., Canada.
- Usman, K. O. (2014). Analisis Sedimentasi Pada Muara Sungai Komering Kota Palembang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 209–215.
- Vona, I., Gray, M. W., & Nardin, W. (2020). *The Impact Of Submerged Breakwaters On Sediment Distribution Along Marsh Boundaries*.
- Wahab, M. F., & Sukmara, R. B. (2022). Pengaruh Pengerukan Dan Embayment Sediment Zone (ESZ) Pada Alur Sungai Asahan. 14(1), 69–74.
- Witantonio, A. D. Dan K. (2015). Pemodelan Aliran Sedimen Di Kolam Pelabuhan (Studi Kasus : Kolam 1 Pelabuhan Tanjungpriok , Jakarta) Pelabuhan

Merupakan Salah Satu Simpul Dari Aturan Yang Tercantum Dalam Alur Pelayaran Pelabuhan . Alur Pelayaran Adalah Perairan Yang Pelayaran Dan Peng. *GEOID*, 01, 22–28.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A