

PERENCANAAN TATA LETAK PELABUHAN LAUT DI PULAU BUNYU, KALIMANTAN UTARA

TUGAS AKHIR

Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Oleh
Rayhan Maulana
NIM 15515071



Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
2019

Lembar Pengesahan

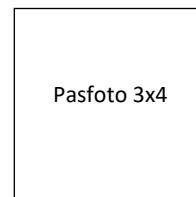
Tugas Akhir Sarjana

**PERENCANAAN TATA LETAK PELABUHAN LAUT DI PULAU BUNYU, KALIMANTAN
UTARA**

Adalah benar dibuat oleh saya sendiri dan belum pernah dibuat dan diserahkan sebelumnya baik
sebagian atau pun seluruhnya, baik oleh saya mau pun orang lain,
baik di ITB maupun institusi pendidikan lainnya.

Bandung, 28 Juni 2019
Penulis

Rayhan Maulana
NIM 15515071



Bandung, 28 Juni 2019

Pembimbing

Dr. Eng. Paramashanti, ST., MT.
NIP 19760703 201012 2 002

Mengetahui:

Program Studi Teknik Kelautan
Ketua,

Andojo Wurjanto, Ph.D
NIP 1960330 198503 100 7

PERENCANAAN TATA LETAK PELABUHAN LAUT DI PULAU BUNYU, KALIMANTAN UTARA

Seaport Layout Design in Bunyu Island, North Kalimantan

Rayhan Maulana¹ dan Paramashanti²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

¹rayhan.hadinoto@gmail.com dan ²parama@ocean.itb.ac.id

Abstrak

Pulau Bunyu merupakan sebuah pulau kecil di perairan kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara yang termasuk ke dalam wilayah Indonesia yang belum memiliki pelabuhan tersendiri untuk memfasilitasi kebutuhan dari warga-warganya. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, akan dibangun sebuah pelabuhan laut untuk melayani transportasi barang dan penumpang dari dan ke Pulau Bunyu di dekat Kota Bunyu, serta untuk menghubungkan pulau-pulau kecil di Indonesia yang termasuk dalam rencana Pemerintah Indonesia untuk menjangkau dan memfasilitasi seluruh warga negara Indonesia.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dilakukan analisis terkait kondisi lingkungan di sekitar perairan lokasi perencanaan pelabuhan laut Pulau Bunyu untuk perencanaan tata letak pelabuhan laut yang tepat guna. Analisis tersebut meliputi pengolahan data lingkungan seperti arus, gelombang, angin, dan pasang surut. Berdasarkan pengolahan data lingkungan, akan didapatkan dimensi fasilitas perairan yang tepat, meliputi kolam putar dan alur pelayaran, fasilitas darat yang tepat, meliputi terminal penumpang serta fasilitas penyimpanan barang, dan dermaga, yang meliputi panjang, lebar, dan elevasi dermaga. Dimensi fasilitas-fasilitas tersebut akan dituangkan dalam penentuan desain alternatif orientasi dermaga, yang didasari oleh pertimbangan hasil pemodelan gelombang dan arus, yang menggunakan perangkat SMS (Surface Water Modelling System) 8.1, serta pengolahan data angin. Alternatif-alternatif yang didapat dari pertimbangan-pertimbangan tersebut akan dianalisis terhadap kriteria-kriteria untuk mendapatkan orientasi dermaga yang tepat. Dengan mempertimbangkan seluruh dimensi fasilitas, kondisi lingkungan, dan orientasi dermaga yang tepat, akan direncanakan tata letak pelabuhan terbaik untuk pembangunan pelabuhan di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.

Kata Kunci: Pulau Bunyu, pemodelan gelombang dan arus, SMS 8.1, orientasi dermaga, tata letak pelabuhan

Abstract

Bunyu island is a small island off the coast of Bulungan Regency, North Kalimantan that is within the Indonesian territory that has not have a dedicated port for the public use of its residents. To meet the demands of the residents, the Ministry of Transportation is planning to build a port for accommodating goods and passanger transportation off and to the island, near the city of Bunyu. The port will also be used by the Indonesian Government to reach islands that are small and remote to better facilitize the needs of its citizens.

In this final assignment, an analysis regarding the environmental conditions surrounding the planned location of the sea port will be conducted to achieve an optimal sea port layout. The analysis comprise of refining environmental data such as ocean current, waves, winds and tide data. Based on the analysis, dimensions for the marine facilities, such as harbor basin and approach channel, land facilities, such passanger terminal and storage facilities, and harbor, such as harbor elevation, length, and width, can be calculated. These dimensions, as well as ocean current and wave model outputs and wind data, are to be considered when designing altenative orientations of the port. The ocean wave and current modelling are done using Surface Water Modeling System 8.1 software. In determining the optimal harbor orientation, the alternatives will be assessed based on various criterias. Based on all the dimensions of the facilities and harbor, environmental conditions, and the chosen orientation of the harbor, the optimal layout of the sea port in Bunyu Island, North Kalimantan can be designed.

Key Words : Bunyu Island, Ocean Waved and Current Modelling, SMS 8.1, harbor orientation, port layout

PENDAHULUAN

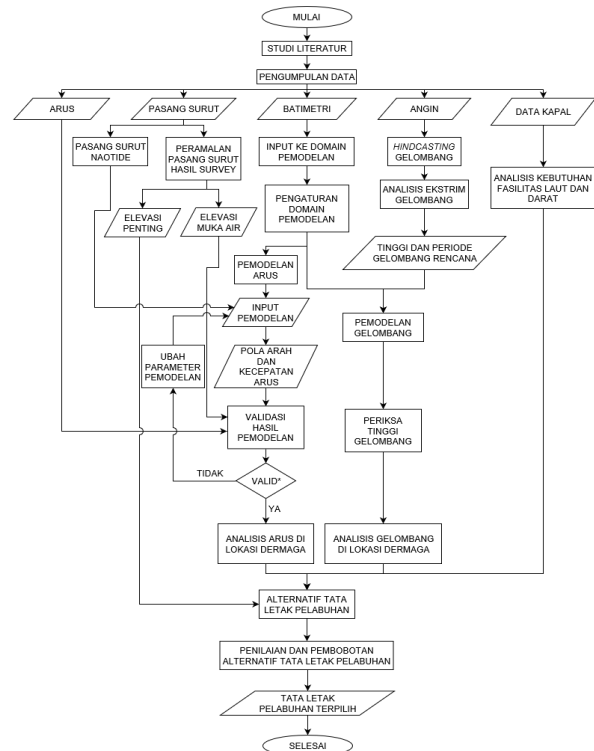
Untuk memenuhi kebutuhan seluruh warga negara Indonesia, pemerintah Indonesia harus dapat menjangkau seluruh wilayah Indonesia, termasuk pulau-pulau kecil yang berada di perbatasan wilayah Indonesia. Pulau Bunyu yang berada di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara merupakan salah satu pulau tersebut. Untuk mengakomodasi kebutuhan warga di Pulau Bunyu, Kementerian Perhubungan merencanakan pembangunan pelabuhan laut di Pulau Bunyu.

Dalam perencanaan pelabuhan laut di Pulau Bunyu, perlu dilakukan analisis mengenai kondisi lingkungan yang ada pada lokasi perencanaan. Analisis tersebut meliputi pengolahan data lingkungan, seperti angin, pasang surut, gelombang, dan arus, pemodelan arus dan gelombang, serta pertimbangan data kapal, penumpang, dan barang. Hasil analisis tersebut akan dipertimbangkan dalam perhitungan dimensi fasilitas perairan, fasilitas darat, dan dermaga, serta penentuan orientasi dermaga yang tepat untuk di lokasi perencanaan.

Perencanaan tata letak pelabuhan laut dapat dilaksanakan dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dimensi fasilitas perairan, fasilitas darat, dan dermaga serta orientasi dermaga yang terpilih berdasarkan hasil analisis kondisi lingkungan.

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum, alur pengerjaan yang digunakan dalam perencanaan tata letak pelabuhan di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir perencanaan tata letak pelabuhan laut

Studi literatur mencakup dasar teori dan perhitungan mengenai pelabuhan, dermaga, fasilitas darat dan perairan, pemilihan tata letak pelabuhan, pengolahan data lingkungan, dan pemodelan hidrodinamika.

Pelabuhan merupakan tempat yang terdiri atas daratan dan perairan yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar dan berlabuh, dan kegiatan naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang, serta dilengkapi oleh fasilitas tertentu, menurut Bambang Triatmodjo (2009) dan Undang-Undang Republik Indonesia No. 61 Tahun 2009 tentang Kepelabuhanan. Dermaga merupakan suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang, menurut Bambang Triatmodjo (2009).

Fasilitas perairan dan darat merupakan fasilitas yang ada pada suatu pelabuhan untuk melayani kegiatan kepelabuhan. Pada pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Fasilitas perairan mencakup kolam pelabuhan dan alur pelayaran, dan fasilitas darat mencakup terminal penumpang, kantor administrasi, dan fasilitas penyimpanan.

Pemilihan tata letak pelabuhan laut di Pulau Bunyu mencakup dua kriteria, yaitu kriteria teknis, yang mempertimbangkan hasil analisis dan pemodelan data lingkungan, serta perhitungan dimensi fasilitas-fasilitas, yang digunakan untuk penentuan orientasi terbaik dermaga dan kriteria non-teknis mencakup aspek sosial, ekonomi, dan ketersediaan lahan di Pulau Bunyu untuk menentukan lokasi pelabuhan terbaik.

Pengolahan data lingkungan mencakup pengolahan data pasang surut, yang menghasilkan tunggang pasang dan tipe pasang surut, data angin, yang menghasilkan kecepatan angin terkoreksi dan mawar angin, data gelombang, yang menghasilkan tinggi dan periode gelombang hasil *hindcasting* dan tinggi dan periode gelombang 50 tahunan hasil analisis ekstrim

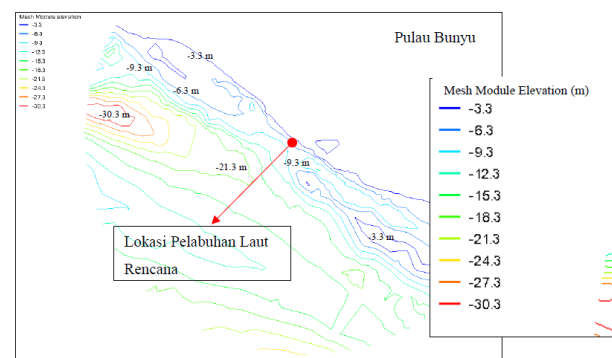
Pemodelan hidrodinamika mencakup pembahasan mengenai perangkat lunak *Surface Water Modelling System* 8.1, modul yang digunakan dalam perangkat lunak tersebut, yaitu STWAVE untuk pemodelan gelombang dengan metode *finite difference*, dan RMA2 untuk pemodelan arus dengan metode *finite element*

PENGOLAHAN DATA LINGKUNGAN

Berikut ini adalah data lingkungan dan hasil pengolahannya yang digunakan pada tugas akhir ini.

1. Batimetri

Data batimetri didapat dari hasil survey pada lokasi perencanaan pembangunan pelabuhan laut di Pulau Bunyu. Gambar 2 merupakan kontur batimetri di lokasi tinjauan.



Gambar 2 Kontur batimetri pada lokasi tinjauan

2. Pasang Surut

Data pasang surut didapat dengan survey pada koordinat 3.457° LU dan 117.835° BT dari 7 Juli 2018 sampai 22 Juli 2018. Didapat dari pengolahan data pasang surut konstituen pasang surut sebagaimana pada Tabel 1 dan tipe pasang surut pada lokasi tinjauan berdasarkan persamaan (1) dan Tabel 2 adalah *Mixed-mainly Semi-Diurnal*.

Tabel 1 Konsituen Pasang Surut pada Lokasi Tinjauan

Konstituen Pasang Surut		
Konstituen	Amplitudo (cm)	Beda Fasa
M2	69.4	52.74
S2	54.48	235.58
N2	18.98	62.82
K2	23.78	-55.32
K1	32.72	205.21
O1	14.68	185.7
P1	8.15	203.02
M4	0.09	-57.02
MS4	0.36	180.33
SO	229.79	

$$F = \frac{AO_1 + AK_1}{AM_2 + AS_2} \quad (1)$$

$$F = \frac{14.68 + 32.72}{69.4 + 54.48} = 0.382$$

Tabel 2 Kriteria Penentuan Pasang Surut menggunakan Bilangan Formzhal

Bilangan Formzhal (F)	Tipe Pasang Surut
$F \leq 0.25$	Semidiurnal
$0.25 < F \leq 1.5$	Mixed-Mainly Semidiurnal
$1.5 < F \leq 3.0$	Mixed-Mainly Diurnal
$F > 3.0$	Diurnal

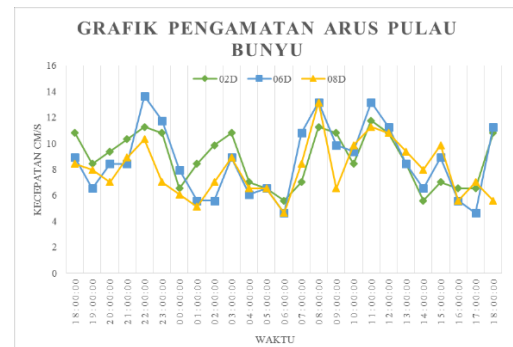
Untuk elevasi muka air, didapat dengan menggunakan pendekatan *least square methode*, dengan perangkat lunak ERGTIDE dengan besar error 1.321%, pada lokasi tinjauan didapat sebagaimana pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Elevasi Muka Air Penting terhadap LWS, Lowest Water Spring

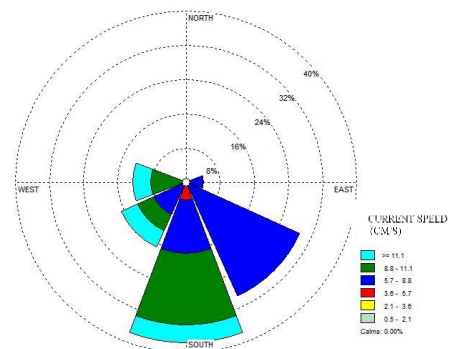
Elevasi-Elevasi Muka Air Penting	Nilai Elevasi (cm)
Highest Water Spring	HWS 382.15
Mean High Water Spring	MHWS 346.06
Mean High Water Level	MHWL 273.82
Mean Sea Level	MSL 186.84
Mean Low Water Level	MLWL 98.75
Mean Low Water Spring	MLWS 38.36
Lowest Water Spring	LWS 0.00

3. Arus

Data arus didapat dengan survey pada koordinat 3.455° LU dan 117.837° BT dari 10 Juli 2018 hingga 11 Juli 2018. Didapat besar kecepatan arus dan mawar arus pada saat survey sebagaimana pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Grafik pengukuran arus di lokasi tinjauan



Gambar 4 Mawar arus di lokasi tinjauan

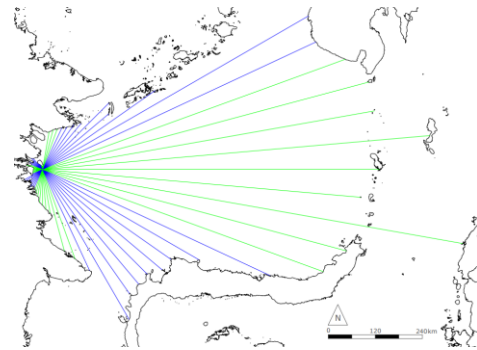
4. Angin

Data angin didapat dari BMKG, yakni dari Stasiun Meteorologi Juwata di Kota Tarakan, Kalimantan Utara. Data angin yang digunakan berdurasi 10 tahun, dari Januari 2005 hingga Desember 2016 dengan interval perekaman tiap 1 jam. Data pada tahun 2010 dan 2011 kurang lengkap sehingga diperlukan data tambahan. Pengolahan data angin meliputi pengoreksian data angin terhadap lokasi tinjauan sehingga didapat estimasi kecepatan angin yang tepat.

Berdasarkan hasil pengolahan data angin, kecepatan angin maksimum tiap tahun dapat dilihat pada , distribusi frekuensi kejadian angin dapat dilihat pada , dan mawar angin total dari Januari 2005 hingga Desember 2016 dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, dan Gambar 5.

Tabel 4 Kecepatan Angin Maksimum Setiap Arah Setiap Tahun

TAHUN	Kecepatan Angin (m/s)							
	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2005	6.84	6.17	4.95	3.79	6.76	6.60	3.81	5.23
2006	5.48	6.30	5.62	4.53	8.38	8.16	4.05	5.24
2007	6.10	6.00	5.17	4.69	7.48	7.92	5.38	4.95
2008	6.25	6.89	7.28	4.44	6.21	9.63	6.30	7.22
2009	6.16	5.16	5.52	3.90	7.45	7.37	6.20	6.39
2012	6.39	6.24	6.54	3.82	8.29	8.41	5.47	4.83
2013	7.56	6.33	5.98	4.03	8.36	8.10	4.65	4.99
2014	10.18	5.44	4.92	3.86	7.27	7.07	6.90	10.04
2015	7.85	5.48	5.08	4.17	9.01	8.21	2.81	3.46
2016	6.10	5.59	6.02	3.47	8.07	6.89	2.93	2.97



Gambar 6 Ilustrasi fetch yang digunakan

Sehingga didapatkan besar fetch efektif setiap arah seperti pada Tabel 6.

Tabel 6 Panjang Fetch Efektif

Orientasi	Fetch Efektif	
	dalam km	dalam m
Timur	874.77	874766.39
Timur Laut	319.69	319685.85
Utara	40.46	40458.64
Barat Laut	27.67	27667.07
Barat	26.75	26753.28
Barat Daya	44.60	44603.70
Selatan	114.59	114590.00
Tenggara	418.45	418453.01

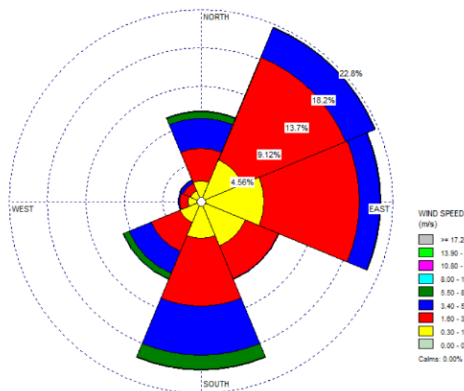
Berdasarkan besar fetch efektif, digunakan metode *hindcastin* menurut SPM 1984 untuk mendapatkan tinggi gelombang signifikan setiap arahnya. Sehingga didapat tinggi gelombang signifikan maksimum setiap arah setiap tahun seperti pada .Tabel 7, distribusi frekuensi kejadian gelombang seperti pada Tabel 8, mawar gelombang seperti pada Gambar 7, serta hubungan persamaan antara periode dan tinggi gelombang pada Gambar 8.

Tabel 7 Tinggi Gelombang Signifikan Maksimum Setiap Arah Setiap Tahun

Tahun	Tinggi Gelombang Signifikan Maksimum (m)							
	Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara	Selatan	Barat Daya	Barat	Barat Laut
2005	0.70	0.94	0.61	0.36	1.17	1.14	0.32	0.44
2006	0.56	0.98	0.78	0.51	1.45	1.41	0.34	0.54
2007	1.04	0.89	0.66	0.55	1.29	1.16	0.54	0.42
2008	0.61	1.18	1.31	0.49	1.07	1.04	0.68	0.61
2009	0.63	0.66	0.76	0.38	1.25	1.24	0.60	0.54
2012	0.66	0.97	1.06	0.36	1.43	1.30	0.74	0.41
2013	0.78	0.99	1.03	0.40	1.35	1.26	0.50	0.51
2014	1.05	0.73	0.60	0.37	1.21	1.03	0.59	1.03
2015	0.81	0.74	0.64	0.43	1.56	1.39	0.20	0.36
2016	0.63	0.78	0.90	0.30	1.40	0.74	0.21	0.25

Tabel 5 Distribusi Frekuensi Kejadian Angin

Wind Class (m/s)	Presentasi Kejadian Angin (%)							Total (%)
	0 - 0.3	0.3 - 1.6	1.6 - 3.4	3.4 - 5.5	5.5 - 8.0	8.0 - 10.8	≥10.8	
Utara	0.167	2.287	3.889	3.540	0.808	0.021	0	10.698
Timur Laut	0.175	5.179	13.177	3.744	0.082	0	0	22.357
Timur	0.210	7.279	11.256	2.466	0.103	0	0	21.314
Tenggara	0.219	5.528	4.168	0.129	0	0	0	10.045
Selatan	0.207	4.180	8.027	5.774	1.731	0.078	0	19.996
Barat Daya	0.178	2.515	3.747	2.812	0.714	0.039	0	10.005
Barat	0.143	1.411	0.998	0.187	0.021	0	0	2.760
Barat Laut	0.140	1.316	0.944	0.355	0.049	0.011	0	2.815
Sub-Total	1.438	29.695	46.207	19.005	3.508	0.148	0	100
Calm								0
Missing Incomplete								0
Total								100



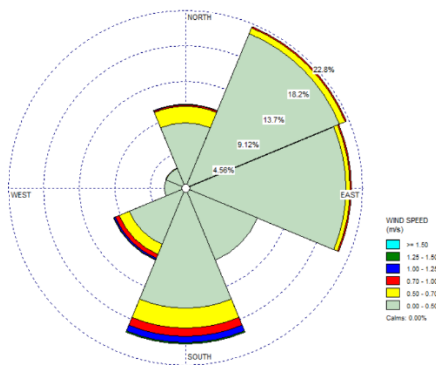
Gambar 5 Windrose total

1. Gelombang

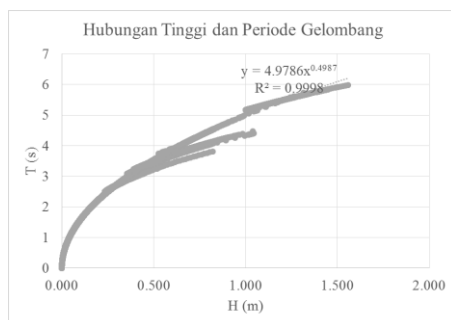
Pengolahan data gelombang menggunakan metode *hindcasting* menurut SPM 1984 dengan menentukan *fetch*. *Fetch* yang digunakan pada tguas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 6, dengan titik pusat *fetch* pada adalah 3.446° LU dan 117.8° BT.

Tabel 8 Distribusi Frekuensi Kejadian Gelombang

Arah Datang Gelombang	Presentase Kejadian Tinggi Gelombang Signifikan (m)						Total (%)
	0.00 - 0.50	0.50 - 0.70	0.70 - 1.00	1.00 - 1.25	1.25 - 1.50	≥1.50	
Utara	8.338	2.137	0.227	0.007	0	0	10.697
Timur Laut	21.362	0.817	0.165	0.010	0	0	22.354
Timur	20.554	0.570	0.180	0.015	0.002	0	21.322
Tenggara	10.038	0.006	0	0	0	0	10.044
Selatan	15.432	2.518	1.078	0.809	0.146	0.010	19.994
Barat Daya	7.836	1.424	0.476	0.243	0.025	0	10.004
Barat	2.706	0.046	0.008	0	0	0	2.760
Barat Laut	2.723	0.078	0.005	0.009	0	0	2.815
Sub-Total	88.989	7.595	2.139	1.093	0.173	0.010	100
Calm							0
Missing/Incomplete							0
Total							100



Gambar 7 Waverose total



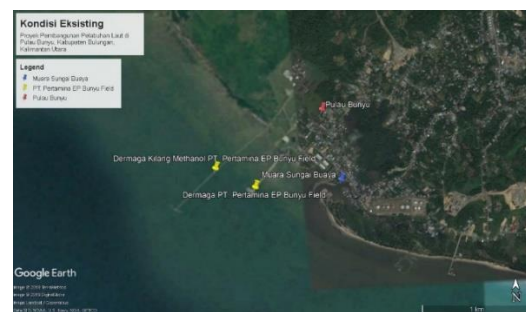
Gambar 8 Grafik hubungan antara tinggi dan periode gelombang

Untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang rencana, perlu dilakukan analisis ekstrim. Metode analisis ekstrim yang digunakan pada tugas akhir ini adalah metode distribusi Log Normal, Log Pearson III, dan Gumbel. Sehingga didapat tinggi dan periode gelombang 50 tahunan seperti pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil Analisis Ekstrim Tinggi dan Periode Gelombang Rencana

Arah Datang Gelombang	Metode Analisis Ekstrim	Tinggi Gelombang Rencana (m)	Periode Gelombang Rencana (detik)
Utara	Gumbel	1.352	5.786
Timur	Gumbel	1.672	6.433
Tenggara	Gumbel	0.690	4.138
Selatan	Gumbel	1.836	6.741
Barat Daya	Gumbel	1.872	6.806
Barat	Gumbel	1.150	5.338
Barat Laut	Gumbel	1.253	5.571

Kondisi fisik pada lokasi tinjauan di Pulau Bunyu, Kalimantan Utara mencakup dua dermaga eksisting milik PT. Pertamina EP Bunyu Field, yaitu dermaga tersus dan dermaga kilang methanol, serta terdapat muara Sungai Buaya. Pada sisi pantainya, terdapat pemukiman, pertokoan dan perkantoran warga, serta kantor dan pergudangan PT. Pertamina EP Bunyu Field. Kondisi fisik dari lokasi tinjauan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Kondisi fisik lokasi tinjauan di Pulau Bunyu

ANALISIS KEBUTUHAN PELABUHAN

Berdasarkan hasil pengolahan data lingkungan pada lokasi tinjauan, dapat dilakukan penentuan dimensi fasilitas perairan dan darat, serta dermaga. Fasilitas perairan mencakup kolam pelabuhan dan alur pelayaran, fasilitas darat mencakup gedung terminal, gedung administrasi, dan fasilitas penyimpanan, dan dermaga mencakup elevasi, panjang, dan lebar dermaga. Pertimbangan dalam perhitungan dimensi fasilitas-fasilitas tersebut mengacu pada standar

OCDI, dengan referensi tambahan berupa *Port Designer's Handbook* oleh C.A. Thoresen.

Untuk menghitung dimensi-dimensi tersebut, dibutuhkan data kapal, data penumpang, serta data bongkar muat barang yang terjadi di Pulau Bunyu. Seperti pada Tabel 10, Tabel 11, dan Tabel 12.

Tabel 10 Data Kapal Rencana

Data Kapal Rencana	
Kapal Barang	
Jenis	General Cargo
Kapasitas	1000 DWT
Dimensi	
LoA	67 m
Lbp	61 m
Lebar	10.7 m
Draft	3.2 m
Kapal Penumpang	
Jenis	Speedboat
Kapasitas	50 Penumpang
Dimensi	
LoA	10 m
Lebar	2.5 m
Draft	0.5 m

Tabel 11 Data Arus Penumpang

TAHUN	PENUMPANG (orang)	
	DATANG	BERANGKAT
2011	45,556	45,364
2012	61,542	61,511
2013	49,075	54,843
2014	62,142	60,185
2015	62,587	61,593

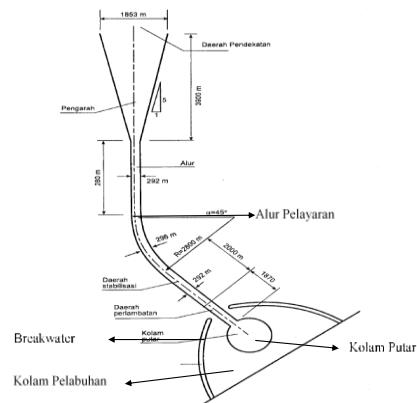
Tabel 12 Data Arus Bongkar Muat Barang

Bulan	2015		2016	
	Bongkar (ton)	Muat (ton)	Bongkar (ton)	Muat (ton)
Januari	504	46	842.5	61
Februari	1471	283	861	0
Maret	691	344	753	40
April	837	524	586	380
Mei	630	338	584	57
Juni	764	13	639	13
Juli	517	70	541	0
Agustus	905	7	702	2
September	784	53	568	87
Oktober	1093	767	748	2
November	823	108	764	12
December	1285	10	668	52
Jumlah	10,304	2,563	8,257	706

Berikut ini adalah perhitungan untuk fasilitas perairan, fasilitas darat, dan dimensi dermaga.

1. Fasilitas Perairan

Berikut ini adalah ilustrasi perairan yang umumnya ada pada sebuah pelabuhan.



Gambar 10 Ilustrasi fasilitas perairan secara umum

Perhitungan komponen-komponen dalam kolam pelabuhan dan alur pelayaran mengacu pada standar OCDI, dengan referensi tambahan *Port Designer's Handbook* oleh C.A. Thoresen. Komponen-komponen dalam kolam pelabuhan mencakup

- Kolam putar
- Kedalaman kolam pelabuhan
- Jarak pemberhentian kapal
- Ketenangan di pelabuhan

Komponen-komponen dalam alur pelayaran mencakup

- Penjajaran alur pelayaran
- Kedalaman alur pelayaran
- Lebar alur pelayaran

Sehingga didapat dimensi fasilitas perairan yang didasari kondisi lingkungan pada lokasi tinjauan pada Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Perhitungan Fasilitas Perairan

FASILITAS PERAIRAN	SATUAN	KEBUTUHAN	KETERANGAN
Kedalaman Kolam Pelabuhan	m	4.2	terhadap LWS
Diameter Kolam Putar	m	210	tanpa bantuan kapal tunda
Jarak Pemberhentian Kapal	m	540	kapal bermuatan penuh
Ketenangan di Pelabuhan	m	0.7	harus dipenuhi seminimalnya 95% dalam 1 tahun
Kedalaman Alur Pelayaran	m	5.448	terhadap LWS
Penjajaran Alur Pelayaran	-	tidak perlu	tidak ada anomali dalam batimetri
Lebar Alur Pelayaran	m	140	-

2. Fasilitas Darat

Perhitungan fasilitas darat pada pelabuhan laut di Pulau Bunyu mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 37 Tahun 2015 tentang Standar Pelayanan Penumpang Angkutan Laut, Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan, Perencanaan Pelabuhan oleh Bambang Triatmodjo pada tahun 2010, dan RIP Pelabuhan Bunyu. Berikut merupakan perhitungan beserta hasil perhitungan untuk fasilitas yang terdapat dalam fasilitas darat

▪ Terminal Penumpang

Luas minimal yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan penumpang untuk menunggu, administrasi, dan utilitas seperti toilet dan ibadah adalah sebesar 2 m² dengan ruang tambahan sebesar 20% untuk keperluan sirkulasi penumpang di dalam terminal.

▪ Gedung Administrasi

Kebutuhan gudang administrasi untuk pelabuhan di Pulau Bunyu, menurut RIP Pelabuhan Bunyu, adalah seluas 150 m².

▪ Lapangan Penumpukan dan Gudang Penyimpanan

Perhitungan yang digunakan untuk menentukan luas fasilitas penyimpanan adalah

$$A = \frac{T \cdot TrT \cdot Sf}{365 \cdot Sth \cdot (1 - BS)} \quad (9)$$

Dimana

A = Luas Gudang (m²)

T = muatan yang melewati pelabuhan per tahun (ton)

TrT = *dwelling time* barang (hari)

Sf = *storage factor*, rata-rata volume per satuan berat komoditi

Sth = *stacking height* (m)

BS = ruangan yang digunakan untuk akses alat pengatur

365 = jumlah hari dalam 1 tahun

Dengan perbandingan luas antara lapangan penumpukan dengan gudang penyimpanan adalah 3 : 2.

▪ Lahan Parkir

Lahan parkir mempertimbangkan banyaknya penumpang yang keluar masuk pelabuhan, serta tipe kendaraan yang digunakan. Didapat luas satuan parkir untuk kendaraan mobil penumpang dan sepeda motor seperti pada Tabel 14.

Tabel 14 Kentutan Luas Satuan Parkir

Jenis Kendaraan	Satuan Ruang Parkir		Kapasitas Penumpang
	L x P	Luas (m ²)	
Mobil Penumpang	2.3 x 5	11.5	4
Sepeda Motor	0.75 x 2	1.5	1

▪ Area Penghijauan

Luas area penghijauan dihitung berdasarkan total luasan fasilitas darat, tidak termasuk kebutuhan jalan, yaitu 20% dari total luasan fasilitas darat.

Standar lebar jalan minimal untuk satu lajur adalah 3.5 m.

Sehingga didapat total luasan fasilitas darat seperti pada Tabel 15.

Tabel 15 Hasil Perhitungan Fasilitas Daratan

FASILITAS DARATAN		Kebutuhan / Dimensi (m ²)
Area Terminal Penumpang		240
Area Gedung Administrasi		150
Luas Area Parkir Kendaraan		260
Luas Area Penyimpanan	Gudang Penyimpanan	150
	Lapangan Penumpukan	200
Luas Area Penghijauan		200
Luas Kebutuhan Jalanan		625
Total Luas yang dibutuhkan		1825

3. Dermaga

Perhitungan dimensi dermaga mengacu pada OCDI tahun 2002 dan *Port Designer's Handbook* oleh C.A. Thoresen. Berikut ini parameter yang dihitung dalam perhitungan dimensi dermaga.

- Elevasi dermaga
- Panjang dermaga
- Lebar dermaga

Berdasarkan perhitungan dari OCDI dan *Port Designer's Handbook* didapat dimensi dermaga yang digunakan pada pembangunan pelabuhan di Pulau Bunyu seperti pada Tabel 16.

Tabel 16 Hasil Perhitungan Dimensi Dermaga

DIMENSI DERMAGA	SATUAN	KEBUTUHAN	KETERANGAN
Elevasi Dermaga	m	5.5	dari LWS
Panjang Dermaga	m	80	-
Lebar Dermaga	m	15	-

HASIL DAN PEMBAHASAN PEMODELAN

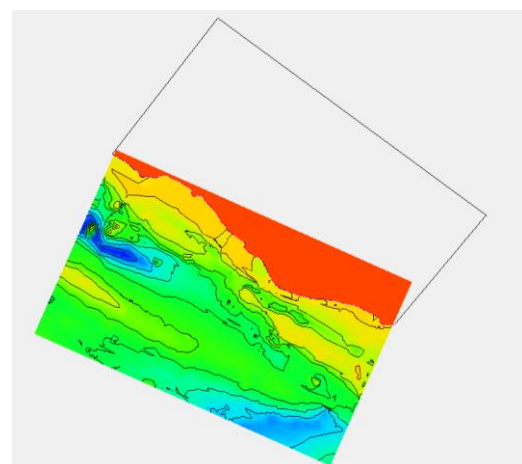
Pemodelan yang dilakukan meliputi pemodelan arus dan gelombang menggunakan perangkat lunak *Surface Water Modelling System 8.1*.

- Pemodelan Gelombang

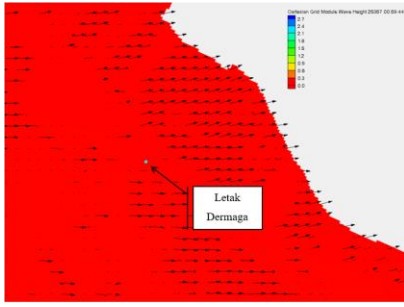
Pemodelan gelombang menggunakan modul STWAVE dengan input data berupa tinggi dan periode gelombang 50 tahunan hasil analisis ekstrim, serta arah datang gelombang tersebut, dan data batimetri perairan terhadap LWS pada kondisi perairan saat HWS. Lokasi pembangunan dermaga berada pada jarak ± 500 m dari garis pantai, seperti yang ada pada gambar hasil pemodelan. Berikut ini adalah input data gelombang pada Tabel 17, data batimetri pada Gambar 11, serta hasil pemodelan gelombang dari Gambar 12 hingga Gambar 18.

Tabel 17 Input Tinggi dan Periode Gelombang Rencana

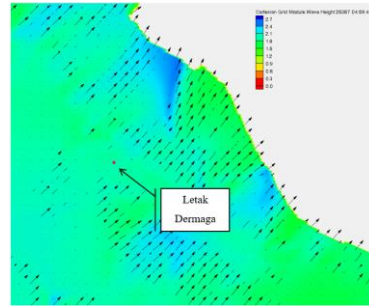
Arah Datang Gelombang	Tinggi Gelombang Rencana (m)	Periode Gelombang Rencana (detik)
Utara	1.352	5.786
Timur	1.672	6.433
Tenggara	0.690	4.138
Selatan	1.836	6.741
Barat Daya	1.872	6.806
Barat	1.150	5.338
Barat Laut	1.253	5.571



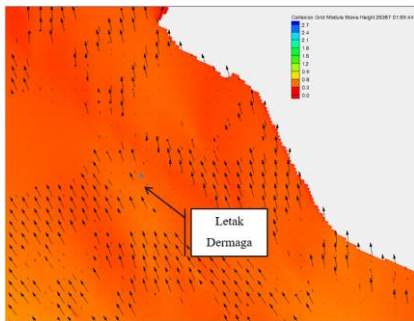
Gambar 11 Grid dan batimetri pemodelan gelombang



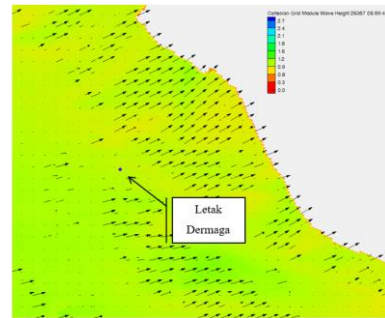
Gambar 12 Hasil pemodelan gelombang dari arah utara



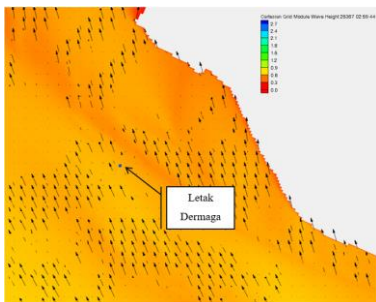
Gambar 16 Hasil pemodelan gelombang dari arah barat daya



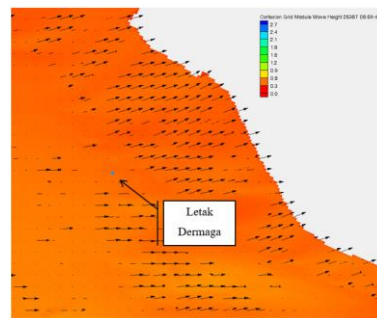
Gambar 13 Hasil pemodelan gelombang dari arah timur



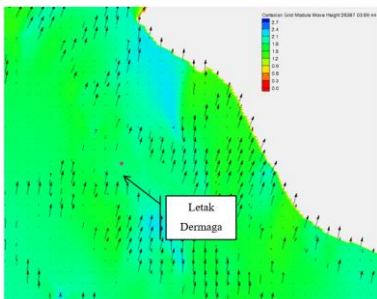
Gambar 17 Hasil pemodelan gelombang dari arah barat



Gambar 14 Hasil pemodelan gelombang dari arah tenggara



Gambar 18 Hasil pemodelan gelombang dari arah barat laut



Gambar 15 Hasil pemodelan gelombang dari arah selatan

Tabel 18 Tinggi dan Arah Rambat Gelombang Hasil Pemodelan

Asal Gelombang	Arah Gelombang di Lokasi Tinjauan	Tinggi Gelombang (m)
Utara	-1.41	0.0069
Timur	110.72	0.2600
Tenggara	113.11	0.4722
Selatan	81.04	1.6554
Barat Daya	44.13	1.8173
Barat	17.68	0.8396
Barat Laut	5.98	0.2816

Dengan ketentuan sudut 0° adalah Timur, dan sudut positif berlawanan jarum jam.

Berdasarkan hasil pemodelan gelombang, didapat tiga arah datang gelombang yang masih melebihi standar ketenangan pelabuhan, yaitu 0.7 m, dari arah Selatan, Barat Daya, dan Barat. Dengan tinggi dan arah rambat gelombang sebagai berikut

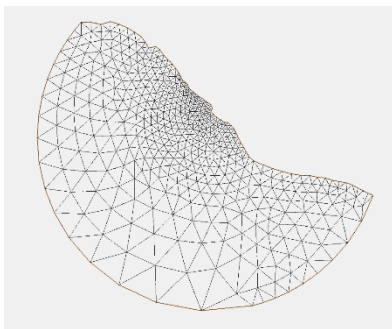
Gelombang dari arah Selatan memiliki tinggi 1.655 m dengan sudut rambat 81.04° berlawanan jarum jam dari arah Timur.

Gelombang dari arah Barat Daya memiliki tinggi 1.817 m dengan sudut rambat 44.13° berlawanan jarum jam dari arah Timur.

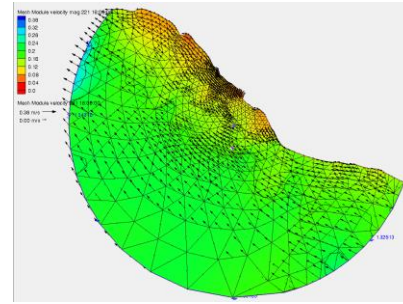
Gelombang dari arah Barat memiliki tinggi 0.896 m dengan sudut rambat 17.86° berlawanan jarum jam dari arah Timur.

▪ Pemodelan Arus

Pemodelan arus menggunakan modul RMA2 dengan input data berupa elevasi muka air pada beberapa lokasi di domain pemodelan di sekitar lokasi tinjauan, data batimetri perairan pada kondisi MSL. Berikut ini adalah *mesh* pemodelan pada Gambar 19 dan contoh hasil pemodelan arus pada Gambar 20.



Gambar 19 Mesh pemodelan arus



Gambar 20 Gambaran hasil pemodelan arus

Dalam pemodelan arus, diperlukan validasi terhadap hasil pemodelan dengan hasil survey untuk mengetahui apakah hasil pemodelan sesuai dengan kondisi nyata. Validasi dilakukan dengan membandingkan data pasang surut dan arus survey dengan hasil pemodelan. Berikut ini adalah hasil validasi tersebut.

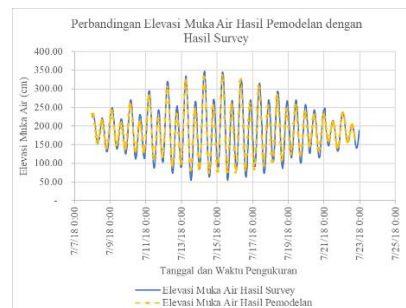
▪ Validasi pasang surut

$$Error = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{\eta}_i - \eta_i|}{Tunggang\ Pasang} \quad (11)$$

Dimana

$\hat{\eta}_i$	=	Data hasil pemodelan
η_i	=	Data hasil observasi
n	=	jumlah data
i	=	data ke- i

Berikut ini adalah grafik perbandingan antara pasang surut hasil survey dengan hasil pemodelan.



Gambar 21 Perbandingan elevasi muka air hasil survey dengan hasil pemodelan

Didapat error antara hasil pemodelan dengan hasil survey sebesar 3.794%.

- Validasi arus

Validasi arus menggunakan metode *Root Mean Squared Error (RMSE)* dengan persamaan seperti berikut

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (12)$$

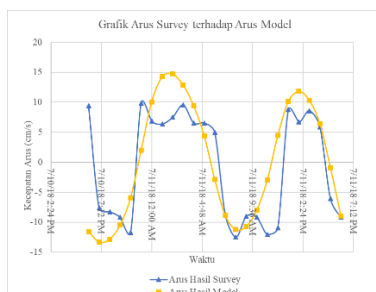
Dimana

$\hat{y}_i$ = data pemodelan

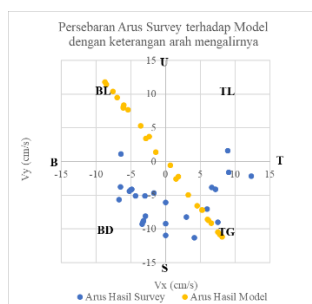
y_i = data hasil survey

n = jumlah data

Besar error RMSE sebesar 0.0459 m/s atau 35.6%. Berikut adalah grafik perbandingan kecepatan pada Gambar 21 dan persebaran arus hasil survey dengan hasil pemodelan pada Gambar 22.



Gambar 22 Grafik kecepatan arus survey terhadap hasil pemodelan



Gambar 23 Perbandingan kecepatan arus survey terhadap hasil model dengan keterangan arah rambatnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan tata letak pelabuhan mempertimbangkan hasil perhitungan kebutuhan fasilitas perairan dan darat, kebutuhan dimensi dermaga, dan hasil pengolahan kondisi lingkungan. Penentuan tata letak fasilitas darat pelabuhan akan mengacu pada hasil perhitungan fasilitas darat. Penentuan tata letak fasilitas perairan dan dermaga pada perairan di lokasi tinjauan ditinjau dari kriteria teknis dan non-teknis.

Kriteria teknis mencakup aspek-aspek sebagai berikut

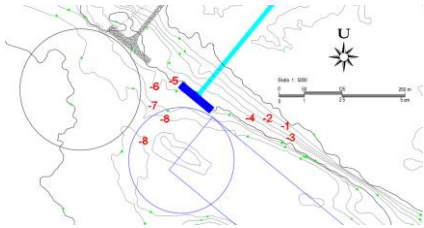
- Kesesuaian orientasi dermaga terhadap arah aliran arus.
- Kesesuaian orientasi dermaga terhadap arah gelombang
- Kesesuaian orientasi dermaga terhadap arah angin dominan.
- Kesesuaian orientasi dermaga dengan kontur kedalaman perairan.
- Kesesuaian fasilitas perairan terhadap kebutuhan manuver kapal.

Kriteria non-teknis mencakup aspek sosial, ekonomi, dan kesediaan lahan pada Pulau Bunyu untuk menentukan lokasi paling tepat untuk pembangunan pelabuhan laut di Pulau Bunyu. Dikarenakan penentuan lokasi pembangunan sudah dilakukan pada studi kelayakan yang telah dilakukan oleh Kementerian Perhubungan, sehingga pertimbangan tata letak pelabuhan selanjutnya hanya akan mempertimbangkan perbedaan orientasi dermaga terhadap kondisi lingkungan.

Sehingga berdasarkan kriteria tersebut, dibuat tiga desain alternatif dermaga yang

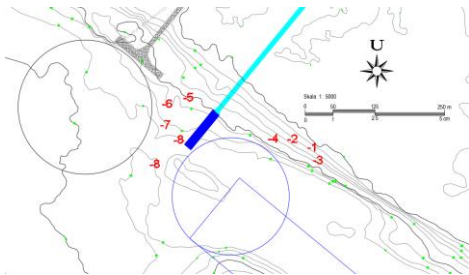
mempertimbangkan hasil pengolahan data lingkungan dan hasil pemodelan gelombang dan arus. Berikut adalah pertimbangan dan ilustrasi dari desain-desain alternatif tersebut.

- Desain dermaga bentuk T, mempertimbangkan hasil pemodelan arus, pada Gambar 24.



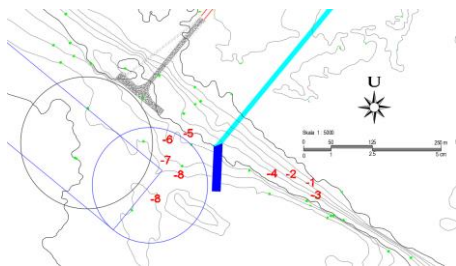
Gambar 24 Desain dermaga bentuk T

- Desain dermaga bentuk I, mempertimbangkan hasil pengolahan data angin, pada Gambar 25.



Gambar 25 Desain dermaga bentuk I

- Desain dermaga bentuk L, mempertimbangkan hasil pemodelan gelombang, pada Gambar 26.



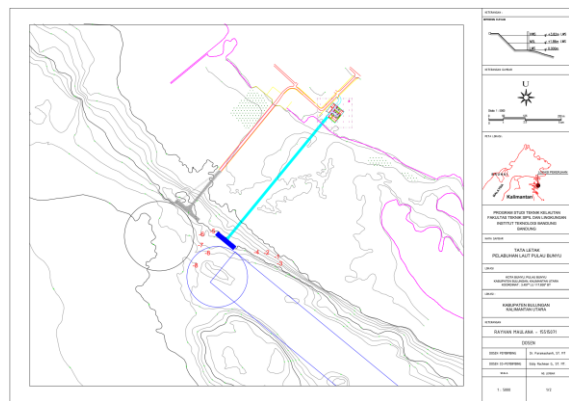
Gambar 26 Desain dermaga bentuk L

Untuk mendapatkan desain alternatif dermaga paling tepat untuk kondisi perairan pada lokasi tinjauan, dilakukan pembobotan pada ketiga alternatif tersebut sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Pembobotan tersebut dapat dilihat pada LAMPIRAN

Tabel 19 di LAMPIRAN. Berdasarkan pembobotan desain alternatif dermaga, ditentukan desain dermaga bentuk T sebagai desain akhir dermaga yang akan digunakan pada pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengolahan data lingkungan dan pemodelan arus dan gelombang, serta perhitungan terkait fasilitas perairan, darat, dan dimensi dermaga, didapati tata letak pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara dapat dilihat pada Gambar 27 dan Gambar 28.



Gambar 27 Tata letak pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Kalimantan Utara



Gambar 28 Tata letak fasilitas darat pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Kalimantan Utara

Untuk saran pengerjaan, sebaiknya dilakukan pula pemodelan transport sedimen di lokasi perencanaan untuk melengkapi hasil pemodelan selain pemodelan arus dan gelombang dikarenakan terdapat sungai yang mungkin mempengaruhi lokasi perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

Amplitude of the Tidal Harmonic Constituents M2, S2, K1, and O1 in Waters Around the City of Bitung in North Sulawesi. **Ampengan, M Royke.** 2013. 2013, Jurnal Unsrat, pp. 2-7.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bulungan. 2016. *Kabupaten Bulungan dalam Angka.* Tanjung Selangor : BPS, 2016.

Departemen Perhubungan. 1996. *Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir.* Jakarta : Departemen Perhubungan, 1996.

Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia. 2014. *Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Barang Milik Negara/Daerah.* Jakarta : Sekretariat Negara, 2014.

—. 2009. *Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2009.* Jakarta : Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2009.

—. 2008. *Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran.* Jakarta : Sekretariat Negara Republik Indonesia, 2008.

Kementerian Perhubungan. 2004. *Keputusan Menteri Perhubungan No. 52 Tahun 2004 Tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Penyebrangan.* Jakarta : Sekretaris Negara Republik Indonesia, 2004.

—. 2015. *Peraturan Menteri No 37 Tahun 2015 tentang Standar Pelayanan Penumpang Angkutan Laut.* Jakarta : Sekretariat Negara, 2015.

Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan. **Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.** 2006. Jakarta : Sekretaris Negara, 2006.

Pond, Stephen and Pickard, George L. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography.* 2nd. Vancouver : Butterworth-Heinemann, 1983.

Shore Protection Manual. 1984. *US Army Corps of Engineers.* 4th. Washington DC : US Government Printing Office, 1984.

The Overseas Coastal Area Development Institute Of Japan. 2002. *Technical Standards and Commentaries For Port and Harbour Facilities in Japan.* Tokyo : Daikousha Printing, 2002.

Thoresen, Carl A. 2014. *Port Designer's Handbook.* 3rd. London : ICE Publishing, 2014.

Triatmodjo, Bambang. 2009. *Perencanaan Pelabuhan.* Yogyakarta : Beta Offset, 2009

LAMPIRAN

Tabel 19 Hasil Pembobotan Desain Alternatif terhadap Kriteria Teknis

No	Uraian	Bobot	Desain Dermaga Bentuk T			Desain Dermaga Bentuk I			Desain Dermaga Bentuk L		
		(%)	Keterangan	Nilai (N)	N * %	Keterangan	Nilai (N)	N * %	Keterangan	Nilai (N)	N * %
1	Kesesuaian Dengan Arus	25	Sejajar	3	0.75	>45°	1	0.25	>45°	1	0.25
2	Kesesuaian terhadap Arah Gelombang	25	>45°	1	0.25	<45°	2	0.5	Sejajar	3	0.75
3	Kesesuaian Dengan Arah Angin Dominan	10	>45°	1	0.1	Sejajar	3	0.3	<45°	2	0.2
4	Kesesuaian dengan Arah Kontur Kedalaman	15	<7 m	3	0.45	7 m - 10 m	2	0.3	7 m - 10 m	2	0.3
5	Kesesuaian Fasilitas Perairan terhadap Kebutuhan Manuver Kapal	25	Sesuai dan tidak mengganggu	3	0.75	Sesuai dan tidak mengganggu	3	0.75	Sesuai dan tidak mengganggu	1	0.25
Total Nilai		100				2.3				2.1	1.75
Besar Penilaian			75%			70%			58%		

Berdasarkan pembobotan desain alternatif dermaga, ditentukan desain dermaga bentuk T sebagai desain akhir dermaga yang akan digunakan pada pelabuhan laut di Pulau Bunyu, Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara.