

**Analisa Gelombang Pada Dermaga  
Kolam Pelabuhan Pondokdayung  
Di Tanjungpriok Jakarta**

**Bambang S.Suwardi<sup>1</sup>, Wahyu W.Pandoe<sup>2</sup>, Dian Adrianto<sup>3</sup>, Kuku S Widodo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi S1 Hidrografi, STTAL

<sup>2</sup>Peneliti dari Balai Teknologi Survei Kelautan, BPPT

<sup>3</sup>Dosen Pengajar Prodi S1 Hidrografi, STTAL

*Abstrak*

*Dalam perencanaan pembangunan kolam pelabuhan diperlukan data-data Hidro-Oseanografi, antara lain data gelombang, kecepatan angin dan data batimetri. Data-data tersebut diperlukan untuk mengetahui tinggi gelombang di dalam kolam pelabuhan sebelum dan setelah pembangunan breakwater. Informasi tentang tinggi gelombang diperoleh dengan melakukan simulasi model gelombang menggunakan software STWave 3.0*

*Simulasi model dilakukan dengan dua metode yaitu metode validasi dan implementasi pada daerah penelitian. Metode validasi dilakukan dengan cara membandingkan tinggi gelombang hasil model dengan perhitungan empiris dan data pengukuran lapangan di Pondokdayung pada tanggal 6-20 Juni 2009 dan di Pulau Damar pada tanggal 10-29 Juli 2009. Pada pemodelan dan perhitungan empiris input data diperlukan berupa kecepatan dan arah angin rata-rata serta tinggi, arah dan periode gelombang di offshore pada tanggal 6-20 Juni 2009 dan 10-29 Juli 2009. Pada metode implementasi input data yang diperlukan berupa kecepatan dan arah angin rata-rata serta tinggi, arah dan periode gelombang pada tahun 2008*

*Nilai RMS Error antara model dan data lapangan, empiris dan data lapangan serta empiris dan model di Pondokdayung 1,36%; 1,56% dan 0,37%, di Pulau Damar 4,84%; 5,05% dan 0,66%. Hasil pemodelan tiap arah dari delapan penjuror mata angin selama tahun 2008 diperoleh gelombang tertinggi di dermaga dalam kolam pelabuhan pada arah angin dari utara 0,01m, timur laut 0,01m, timur 0,01m, tenggara 0m, selatan 0m, barat daya 0,04m, barat 0,13m dan barat laut 0,25m.*

**Kata Kunci** : gelombang, breakwater dan Pondokdayung)

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang**

Koarmabar saat ini sedang melaksanakan tahap pengembangan pangkalan dengan melaksanakan pembuatan dermaga dalam kolam pelabuhan dengan *breakwater* sebagai pemecah gelombang.

Pemodelan gelombang dengan *software STWave (Steady State Wave)* yang ada di dalam SMS (*Surface Water Modelling System*) versi 9.1 dapat menganalisa transformasi gelombang dari *offshore* ke daerah pantai. Hasil pemodelan gelombang tersebut diharapkan

mendapatkan gambaran arah, ruang dan waktu untuk tinggi gelombang signifikan pada rencana pembangunan dermaga dan *breakwater* Lantamal III di Pondokdayung Tanjungpriok Jakarta.

**Rumusan Masalah**

Kapal Perang Republik Indonesia (KRI) terdiri dari beberapa tipe dengan dimensi yang berlainan. Tiap KRI yang berlabuh di dermaga dengan dimensi tertentu mempunyai batasan ketinggian gelombang maksimal tertentu saat berlabuh di dermaga

### Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk memperoleh gambaran kondisi gelombang di dalam kolam pelabuhan setelah pembangunan *breakwater* dengan cara melakukan analisa proses *transformasi* gelombang laut menggunakan program pemodelan *STwave 3.0* yang merupakan bagian dari *software SMS 9.1* di perairan Teluk Jakarta yang telah divalidasi dengan perhitungan *empiris transformasi* gelombang dan data pengukuran lapangan.

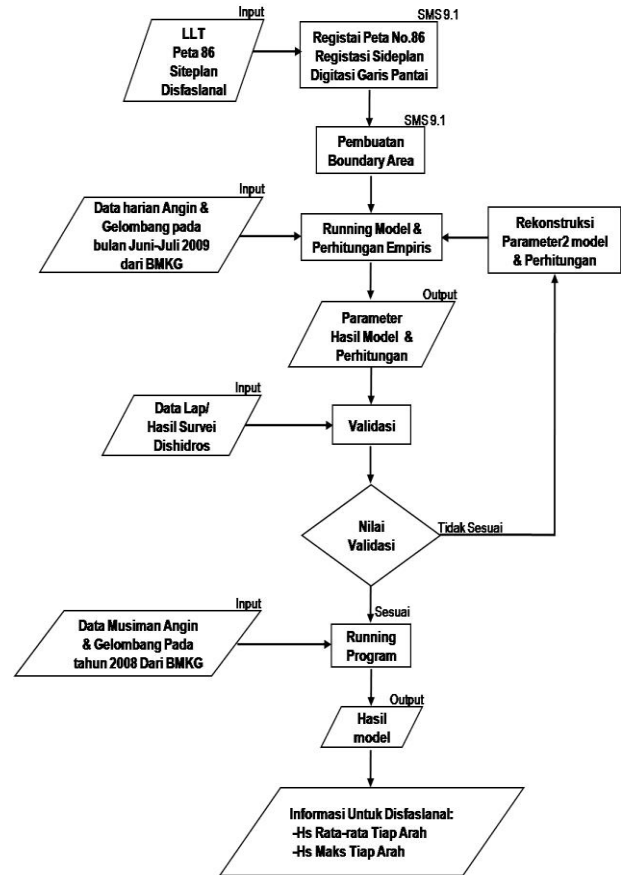
### Manfaat Penelitian

Hasil pemodelan gelombang berupa analisa tinggi gelombang dan analisa kondisi ekstrim tiap arah angin pada delapan penjurur mata angin dapat dipergunakan oleh Disfaslanal sebagai informasi awal untuk menentukan lokasi sandar KRI yang tepat sesuai dengan tipenya dapat dilakukan dengan lebih baik.

### Ruang Lingkup

Melihat letak geografis dari rencana pembangunan dermaga dan kolam pelabuhan Pondokdayung di Tanjungpriok Jakarta Utara oleh Disfaslanal yang letaknya jauh dan terhalang dari muara sungai sebagai penyebab utama terjadinya sedimentasi, maka penelitian dibatasi untuk mengkaji parameter-parameter gelombang terutama di dalam kolam pelabuhan yang dibangkitkan oleh angin.

### Alur Pikir



### Metodologi Penelitian

#### Studi Pustaka

Metode penelitian diawali dengan melakukan studi pustaka tentang teori gelombang, studi pemrograman *software SMS 9.1* dan *STWave 3.0*, dilanjutkan mempelajari tulisan, tugas akhir atau makalah terdahulu yang berisi tentang analisa gelombang dengan *software SMS 9.1* dan *STWave 3.0* di daerah lain serta analisa gelombang di daerah yang sama dengan metode yang lain .

#### Metoda Pengumpulan data

Data yang digunakan adalah :

- Data batimetri area Pondokdayung diperoleh dari survei Dinas Hidro-Oseanografi TNI-AL.
- Peta Laut Dishidros No.86, yang digunakan sebagai batas area pemodelan.
- Siteplan* Disfaslanal, yang digunakan sebagai area penelitian.
- Data arah dan kecepatan angin permukaan laut serta data arah, tinggi

gelombang dan periode bulan Juni-Juli tahun 2009 dari BMKG, diolah menjadi data rata-rata harian pada arah yang dominan digunakan sebagai input data pertama untuk *running program* pemodelan yang akan divalidasi.

e. Data gelombang hasil survei Dishidros pada tanggal 10-29 Juni 2009 di Pondokdayung dan pada tanggal 6-20 Juli 2009 di Pulau Damar, digunakan untuk validasi hasil pemodelan pertama.

f. Data arah dan kecepatan angin permukaan laut serta data arah, tinggi gelombang dan periode tahun 2008 dari BMKG, diolah menjadi data rata-rata arah utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat dan barat laut serta data dengan nilai tertinggi dari tiap-tiap data musiman kemudian digunakan sebagai *input data* kedua untuk *running program* pemodelan.

### Pengolahan Data dan Running Program

*Running program* pemodelan dilaksanakan sebanyak dua kali. *Running program* pertama untuk validasi hasil model dengan data hasil pengukuran lapangan dan perhitungan empiris, data input model disesuaikan waktu pengukuran lapangan yang dilaksanakan Dishidros.

*Running program* yang kedua dilaksanakan setelah validasi hasil model untuk menganalisa parameter-parameter gelombang berupa tinggi gelombang rata-rata musiman dan tinggi gelombang maksimum tiap musim selama tahun 2008 di daerah Teluk Jakarta terutama di area rencana pembangunan dermaga dan kolam pelabuhan.

### Analisa Hasil Model

Pemodelan gelombang ini disusun berdasarkan data arah dan kecepatan angin permukaan laut, data arah, tinggi gelombang dan periode serta data batimetri yang diolah dengan menggunakan model *transformasi* gelombang perairan pantai *STWave 3.0* dengan cara menyelesaikan persamaan keseimbangan spektrum gelombang secara numerik. Hasil pemodelan divalidasi menggunakan data gelombang hasil survei Dishidros dan perhitungan secara *empiris*.

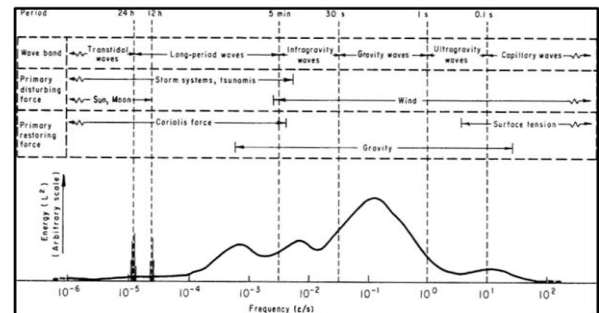
## TEORI DASAR

### Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan salah satu faktor penting di dalam perencanaan pelabuhan. Gelombang di laut biasanya dibangkitkan oleh angin, gaya tarik matahari dan bulan, letusan gunung berapi atau gempa bumi di laut, kapal yang bergerak, dan sebagainya. Pada umumnya bentuk gelombang di laut sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang acak.

### Karakteristik Gelombang Laut

Gelombang dapat diklasifikasikan berdasarkan periode atau frekuensi gelombangnya, untuk keperluan rekayasa pantai pada umumnya digunakan informasi periode gelombang antara 1 sampai 15 detik dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Klasifikasi Gelombang Laut Berdasarkan Periode (Sumber: Kinsman, 1965 di dalam US. Army Corps of Engineering, 2002)

### Parameter Gelombang Laut

Untuk mempermudah perhitungan dalam perencanaan pelabuhan digunakan teori gelombang Airy, merupakan teori gelombang tidak berputar (*irrational waves*) yang bergerak di air dengan dasar yang horizontal disebut teori gelombang linier (*Linear Wave Theory*) [Amirudin, 2008]. Asumsi-asumsi yang diambil dalam penurunan teori ini adalah:

- Sifat-sifat dari fluida yang dianggap tidak termampatkan, tidak kental, gerakannya tanpa gesekan dan tidak berputar serta kerapatan massanya seragam.
- Fluida dibatasi oleh dasar horizontal yang halus (*smooth*) di dasar dan udara yang tidak terganggu di sisi atasnya.
- Bentuk gelombang tetap.
- Tidak terdapat arus bawah (*underlying current*).
- Tinggi gelombang  $\ll$  panjang gelombang dan kedalaman air.

### **Refraksi Gelombang**

*Refraksi* atau pembelokan arah gelombang terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut.

Proses refraksi gelombang laut adalah sama dengan refraksi gelombang cahaya yang terjadi ketika melintasi dua media yang berbeda maka hukum Snell pada optik dapat diterapkan pada refraksi gelombang laut yang disebabkan karena perubahan kedalaman dengan asumsi-asumsi [Amirudin,2008]:

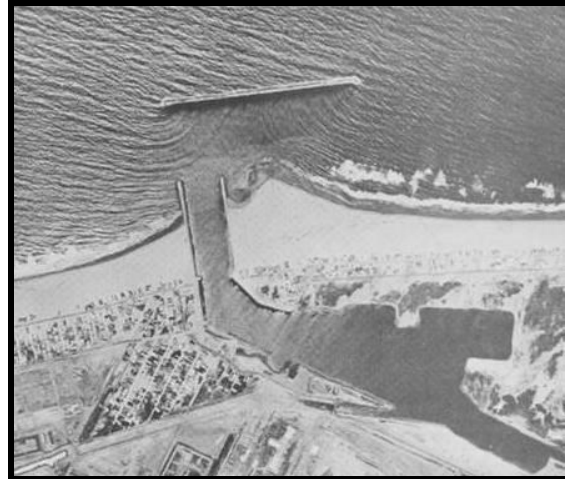
- Energi yang terkandung di antara dua lintasan tertentu adalah tetap tidak ada perpindahan energi dalam arah memotong lintasan gelombang. Tidak ada energi hilang akibat pemantulan gelombang dan gesekan dengan dasar laut.
- Lintasan gelombang tegak lurus muka gelombang.
- Pada suatu perioda tertentu, kecepatan gelombang di suatu titik di perairan dangkal hanya bergantung pada kedalaman laut titik tersebut.
- Perubahan batimetri secara bertahap.
- Gelombang laut mempunyai perioda yang tetap, muka gelombang panjang tak hingga, *amplitude* kecil dan *monokromatis*.
- Pengaruh arus laut, angin, pemantulan gelombang dan gesekan dasar tidak diperhitungkan.

### **Pendangkalan (Shoaling)**

Pendangkalan gelombang disebabkan oleh efek perubahan kedalaman perairan yang menyebabkan perubahan profil atau karakteristik gelombang yang menjalar dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal

### **Difraksi Gelombang**

Gelombang yang terhalang oleh suatu rintangan atau pulau akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk daerah terlindung di belakangnya seperti terlihat pada gambar 2. Fenomena ini dikenal dengan *difraksi* gelombang.



**Gambar 2** *Difraksi* Gelombang (Sumber : US. Army Corps of Engineering, 2002).

Untuk kepentingan perencanaan pelabuhan dan *breakwater* sebagai pelindung pantai diperlukan perhitungan koefisien difraksi dengan asumsi-asumsi [Amirudin, 2008] yaitu :

- Fluida ideal (*inviscid* dan *inkompresibel*).
- Gelombang beramplitudo kecil (*Airy*).
- Aliran tak berputar (*irrotational*).
- Kedalaman dibelakang pulau atau *breakwater* konstan.
- Gelombang dipantulkan sempurna oleh *breakwater*.

### **Pelabuhan**

Pelabuhan (*port*) adalah daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga di mana kapal dapat bertambat untuk bongkar muat barang, kran-kran untuk bongkar muat barang, gudang laut (*transito*) dan tempat-tempat penyimpanan di mana barang-barang dapat disimpan .

### **Pangkalan TNI-AL**

Pangkalan TNI-AL terbagi menjadi sebelas Lantamal, 43 Lanal dan 64 Posal, mempunyai fungsi yang di antaranya hampir sama dengan fungsi pelabuhan tetapi dikhususkan untuk KRI yang tersebar di berbagai wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.

Tidak seluruh Pangkalan TNI-AL tersebut dapat memenuhi syarat-syarat pelabuhan seperti telah diuraikan di atas. Dan ada Pangkalan TNI-AL yang tidak mempunyai fungsi pelabuhan karena letak geografisnya. Lantamal III Pondokdayung yang terletak di Tanjungpriok

Jakarta dalam pengembangannya saat ini melaksanakan pembangunan *breakwater* dan dermaga.

*Breakwater* adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah pelabuhan dari gangguan gelombang.

Dermaga adalah suatu bangunan pelabuhan yang digunakan untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang.

Pembagian letak dermaga di dalam suatu kolam pelabuhan didasarkan pada tipe dan ukuran kapal yang merapat dan bertambat pada dermaga tersebut. Tiap-tiap KRI yang merapat di dermaga dengan bobot tertentu mempunyai ukuran tinggi gelombang maksimal tertentu di mana tinggi gelombang sebesar 0,40 m adalah tidak berarti bagi kapal sebesar (1000-3000) DWT, tetapi gelombang tersebut sudah cukup mengganggu kapal sebesar 1000 DWT, untuk melakukan bongkar muat [Kramadibrata, 1985]. Ukuran tinggi gelombang maksimal kapal berdasarkan bobot dan tipenya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini :

**Tabel 1** Ukuran Tinggi Gelombang Maksimal Berdasarkan DWT Dan Tipenya

	Ukuran Kapal	Ukuran Tinggi Gelombang
Barang padat umum	Kapal : 1000 DWT Kapal : (1000 – 3000) DWT Kapal : (1300 – 15000) DWT	maks. 0,2 m maks. 0,6 m maks. 0,8 m
	Kapal Ro/Ro (Roll on Roll off)	maks. 0,2 m
Barang cair/gas	Kapal Tanker Luk. 50.000 DWT	maks. 1,2 m
Barang khusus	LASH (Lighter Aboard Ship) Kapal Peti Kemas BACAT (Barge Aboard Cutamarani)	maks. 0,6 m

Sumber : Kramadibrata, 1985

### Kapal Perang Republik Indonesia (KRI)

TNI-AL saat ini memiliki 139 KRI yang terdiri dari beberapa tipe yang mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Tiap-tiap tipe KRI akan mempunyai panjang, lebar dan sarat (*draft*) kapal yang akan berhubungan langsung pada perencanaan fasilitas-fasilitas pelabuhan. Beberapa definisi tentang kapal karena adanya perbedaan panjang, lebar dan sarat (*draft*) kapal yang banyak digunakan yaitu [Traiatmojo, 1996] :

- Displacement Tonnage, DPL*
- Deadweight Tonnage, DWT* (Bobot Mati).
- Gross Tonnage Tons, GRT*
- Netto Register Tons, NRT*

- Sarat (*Draft*)
- Panjang Total (*Length Overall, L<sub>oa</sub>*)
- Panjang Garis Air (*length between perpendiculars, L<sub>pp</sub>*)
- Lebar kapal (*breadth*)

Ukuran tinggi gelombang maksimal pada KRI dan dikelompokan berdasarkan fungsi dan tipenya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Pembagian KRI Berdasarkan Fungsi Dan Tipenya

Jenis Kapal	Draft (m)	L <sub>oa</sub> (m)	DWT (Ton)	KATEGORI	H <sub>w</sub> Max (m)
KRI KDA (Korvet)	4,0	97,2	2.050	Padat Umum	0,6
KRI HSN (Zona)	3,6	90,7	1.692	Padat Umum	0,6
KRI AMY (Vanspeik)	4,4	113,4	2.835	Padat Umum	0,6
KRI MDU (PSK)	1,4	53,6	270	Padat Umum	0,2
KRI NGL (KAPAL SELAM)	6,0	59,5	1.390	Brg Khusus	0,6
KRI SINGA (FPE)	2,7	58,1	447	Padat Umum	0,2
KRI PTM (PARCHIM)	4,5	75,2	769	Padat Umum	0,2
KRI PRP (BR CLASS)	2,9	51,6	568	Padat Umum	0,2
KRI PRS (CONDOR)	2,6	56,7	310	Padat Umum	0,2
KRI TLE (LST KOREA)	3,0	100,0	3.750	Ro/Ro	0,2
KRI TJA (LST JERMAN)	3,8	90,8	1.950	Ro/Ro	0,2
KRI TLS (LST AMERIKA)	4,2	100,0	4.080	Ro/Ro	0,2
KRI NSU (LCT)	2,0	38,9	580	Ro/Ro	0,2
KRI KPL (ANGKUT PERS)	2,0	70,1	493	Padat Umum	0,2
KRI MKS (LPD)	4,9	122,0	11.400	Padat Umum	0,8
KRI MULTATULI	6,9	111,4	8.400	Padat Umum	0,8
KRI DEWARUCI	41,5	42,0	1.500	Padat Umum	0,6
KRI SPT (TUNDA)	4,4	66,1	1.279	Padat Umum	0,6
KRI SEU (ECM)	5,2	69,0	1.525	Brg Cair	0,6
KRI KOERA (PC-360)	1,3	36,0	90	Padat Umum	0,2
KRI PVER (PC-40)	1,4	40,0	100	Padat Umum	0,2
KRI CCT (PC-BES)	2,3	35,7	146	Padat Umum	0,2
KAL KANGAN (KAL-28)	1,0	28,0	45	Padat Umum	0,2

Sumber : *Jane Fighting Ship*, 2008.

### Pemodelan Gelombang dengan Software STWave3.0

Pada saat ini untuk mendukung data-data yang diperlukan dalam kegiatan rekayasa pantai, para ahli rekayasa mulai menggunakan program pemodelan untuk mendapatkan gambaran proses alam yang terjadi di daerah yang akan dikembangkan. Penggunaan pemodelan tersebut dilakukan atas dasar pertimbangan ekonomis, karena dibandingkan dengan melaksanakan pengukuran langsung di lapangan metode pemodelan memerlukan biaya relatif lebih murah.

Pengertian pemodelan yaitu melaksanakan tiruan kondisi alam dengan tujuan untuk keperluan analisa dan perancangan. Dimana secara umum pemodelan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu model fisik, model analogi, dan model matematik.

- Model fisik merupakan replika/tiruan dari domain/ruang/daerah dimana fenomena/peristiwa alam itu terjadi. Kecocokan dari model ini tergantung dari kesebangunan

(geometris, kinematis dan dinamis) model dengan alam, misalnya model bendungan.

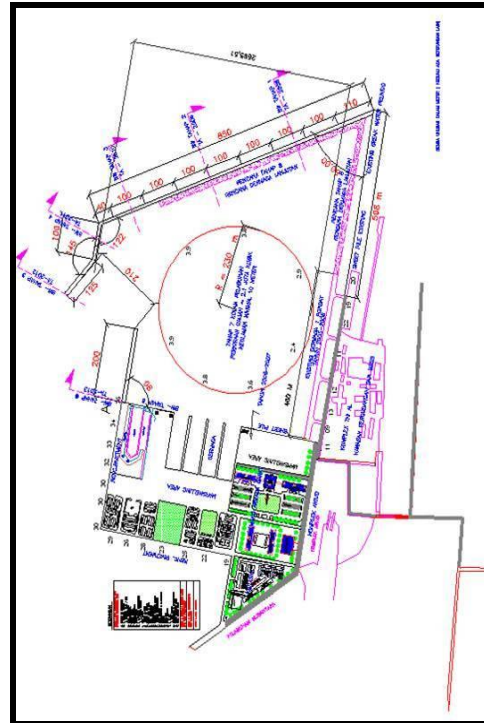
b. Model analog dibuat berdasarkan analogi fenomena/peristiwa alam dengan fenomena/peristiwa alam yang lain untuk kemudian dibuat model fisiknya. Model ini sudah jarang digunakan seiring dengan perkembangan teknologi komputer.

c. Model matematik dibangun berdasarkan formula matematis yang terkait dengan fenomena alam dan selanjutnya dilakukan penyelesaian terhadap formula tersebut. Pada model matematik tersebut fenomena/peristiwa alam dideskripsikan dengan satu set persamaan. Kecocokan model terhadap fenomena/peristiwa alamnya tergantung dari ketepatan formulasi persamaan matematis dalam mendeskripsikan fenomena/peristiwa alam yang ditirukan.

### LOKASI PEMODELAN DAN PERHITUNGAN EMPIRIS

#### Lokasi Penelitian

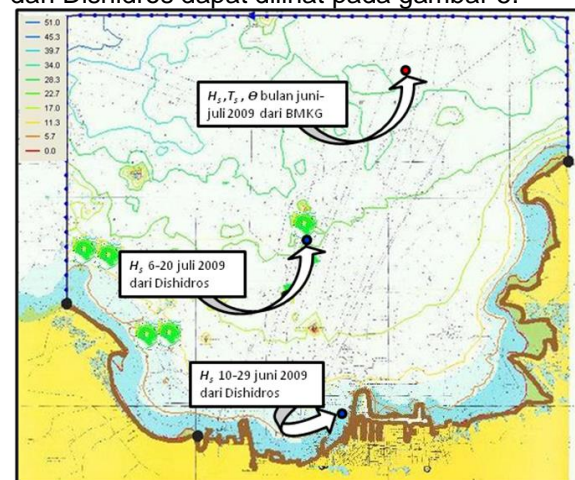
Lokasi penelitian adalah daerah Lantamal III di Pondokdayung yang terletak di dalam area Teluk Jakarta, di mana saat ini sedang dilaksanakan pengembangan Pangkalan dengan membangun dermaga di dalam kolam pelabuhan. Pada tahap awal pembangunan sesuai *siteplan* dari Disfaslanal akan dibangun *breakwater* dan dermaga di dalam kolam pelabuhan. *Siteplan* dari Disfaslanal dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 4 *Siteplan* Disfaslanal

#### Data Pendukung Pemodelan

Posisi data parameter-parameter gelombang dari BMKG dan posisi parameter-parameter gelombang pengukuran lapangan dari Dishidros dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Posisi Parameter-Parameter Gelombang Dari BMKG Dan Pengukuran Lapangan Dari Dishidros

#### Data Pengukuran Lapangan

Data pengukuran lapangan berupa parameter-parameter gelombang hasil survei Dishidros pada tanggal 10-29 Juni 2009 di Pondokdayung dengan koordinat  $6^{\circ} 5' 26,32''$  LS -  $106^{\circ} 52' 28,34''$  BT dan pada tanggal 6-20 Juli

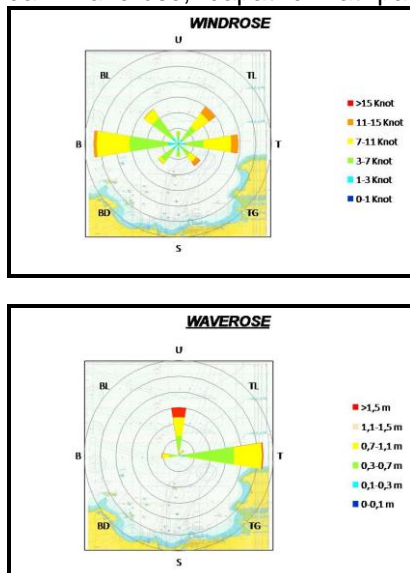
2009 di Pulau Damar dengan koordinat  $05^{\circ} 57' 37,437''$  LS -  $106^{\circ} 50' 29,395''$  BT diolah dengan metode statistik sehingga diperoleh data tinggi gelombang rata-rata harian .

### Data Input Pemodelan

Pada program *STWave* data yang digunakan sebagai *input* utama adalah data batimetri, data arah dan kecepatan angin serta data arah, tinggi dan periode gelombang. Data batimetri diperoleh dari peta laut no.86, untuk daerah Pondokdayung data batimetri yang digunakan yaitu data hasil survei Dishidros sehingga diperoleh data batimetri yang lebih rapat, untuk mengisi nilai kedalaman yang kosong, pada program *STWave* terdapat fasilitas untuk menginterpolasi nilai-nilai kedalaman yang ada di sekitar grid..

Data parameter-parameter gelombang di *offshore* pada koordinat  $6^{\circ} 51' 00''$  LS -  $106^{\circ} 51' 00''$  BT diperoleh dari BMKG, diolah dengan metoda statistik sehingga memperoleh data input pemodelan berupa data rata-rata harian bulan juni-juli tahun 2009 serta rata-rata arah dan data maksimal tiap-tiap arah dari delapan penjurur mata angin tahun 2008.

Data parameter-parameter gelombang dari BMKG pada tahun 2008 dikelompokkan berdasarkan delapan penjurur arah mata angin dan diolah dengan metode statistik sehingga diperoleh data rata-rata dan maksimal tiap-tiap arah yang ditampilkan dalam bentuk *windrose* dan *waverose*, dapat dilihat pada gambar 6.

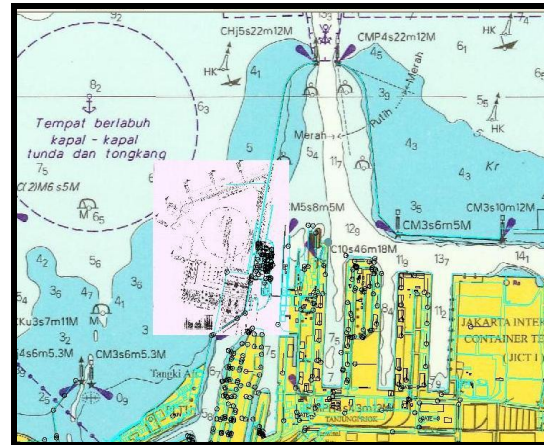


**Gambar 6.** Data *Windrose* dan *Waverose* Tahun 2008 (Sumber: Data parameter gelombang tahun 2008 dari BMKG).

### Desain Model

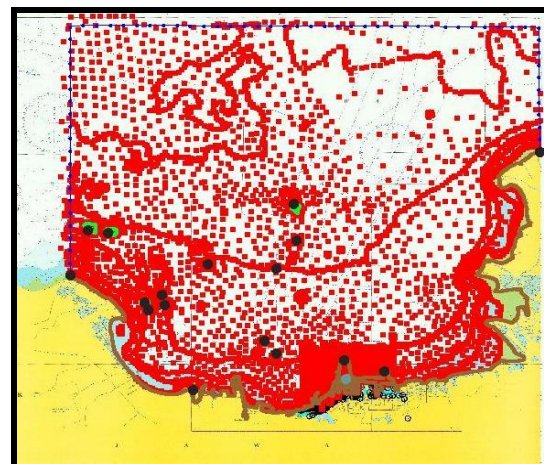
Desain model dilakukan untuk menentukan sejauh mana batas model yang akan dibuat, ukuran grid, dan banyaknya *mesh* dalam batas model.

Penentuan titik sekutu antara lembar lukis teliti, peta laut dan *siteplan* diperlihatkan pada Gambar 7.



**Gambar 7** Area Pemodelan Gelombang

Data batimetri untuk pemodelan diperoleh dari gabungan hasil survei Dishidros di area Pondokdayung dan *digitasi* nilai-nilai kedalaman yang ada di dalam peta laut. Adapun *input* data *batimetri* hasil survei Dishidros dan hasil *digitasi batimetri* dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** *Input* Data *Batimetri* (satuan m)

### Pelaksanaan Pemodelan

Sebelum *running* program, terlebih dahulu pada syarat batas terbuka model diberikan input data tinggi dan arah gelombang signifikan, periode gelombang, serta arah dan kecepatan

angin diberikan di seluruh *grid* daerah model. Untuk validasi hasil pemodelan yang dijadikan sebagai *input* data yaitu data rata-rata harian.

### Data Perhitungan Empiris

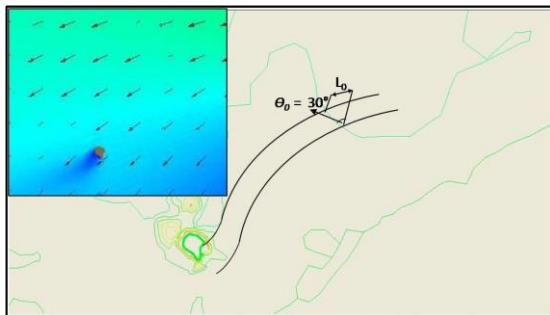
Perhitungan *empiris* tinggi gelombang yang dilaksanakan yaitu untuk validasi data gelombang hasil pemodelan dan pengukuran lapangan hasil survei Dishidros di Pondokdayung tanggal 10-29 Juni 2009 dan Pulau Damar tanggal 6-20 Juli 2009. Data perhitungan empiris menggunakan data yang sama dengan *input* data pemodelan.

Data rata-rata harian parameter-parameter gelombang dari BMKG pada tanggal 6 Juli 2009 sebagai berikut:

- Tinggi Gelombang ( $H_0$ ) = 0,86 m
- Periode Gelombang ( $T_0$ ) = 5,40 s
- Kedalaman ( $d_0$ ) = 26 m

Digunakan untuk menghitung secara empiris tinggi gelombang di Pulau Damar dengan koordinat Geografik (05° 57' 37,437" LS - 106° 50' 29,395" BT) atau koordinat UTM Zona 48 S (9340846 ; 703834) (posisi stasiun gelombang pengukuran lapangan) dengan kedalaman ( $d_2$ )= 5 m.

Refraksi  $d_0$  ke  $d_1$ , dapat dilihat pada gambar 9



**Gambar 9** Refraksi Gelombang Pada Kedalaman 5 m di Pulau Damar

$$d_1 = 5 \text{ m}$$

$$\text{Wave Direction} = 90^\circ \approx \text{Timur}$$

$$\text{Sudut Datang } (\theta_0) : = 30^\circ$$

$$L_0 = \frac{g T^2}{2\pi} = \frac{9,8 \times 5,4^2}{2\pi} = 439,7686 \text{ m}$$

$$\frac{d_1}{L_0} = \frac{5}{439,7686} = 0,0114$$

Untuk mendapatkan nilai  $L_1 \rightarrow$

$\frac{d_1}{L_0}$  diinterpolasikan berdasarkan data tabel 2.3

$$\frac{d_1}{L_1} = 0,0429 > 0,04 \text{ (Deep Water)}$$

$$L_1 = \frac{d_1}{d_1/L_1} = \frac{5}{0,0429} = 116,6930 \text{ m}$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{439,7686}{5,4} = 82,2574 \text{ m/s}$$

$$C_1 = \frac{L_1}{T} = \frac{116,6930}{5,4} = 21,8271 \text{ m/s}$$

Untuk mendapatkan nilai  $kd \rightarrow$

$\frac{d_1}{L_0}$  diinterpolasikan berdasarkan data tabel 2.3

$$kd = 0,2692$$

$$n_1 = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right\} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{2 \times 0,2692}{\sinh(2 \times 0,2692)} \right\} = 0,9767 \text{ (2.13)}$$

$$C_g = n_1 \cdot C_1 = 21,3173 \text{ m/s}$$

Hukum Snell

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_0} = \frac{C_1}{C_0}$$

$$\sin \theta_1 = \frac{C_1}{C_0} \times \sin \theta_0 = \frac{21,8271}{82,2574} \times \sin 30^\circ = 0,1331$$

$$\theta_1 = 7,6242^\circ \approx 8^\circ$$

$$K_r = \frac{\cos \theta_0}{\cos \theta_d} = \frac{\cos 30^\circ}{\cos 8^\circ} = 0,9348$$

$$\left( \frac{2,4}{1,5} \right) \frac{n_0 \cdot C_0}{n_1 \cdot C_1} = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot n_1} \cdot \frac{C_0}{C_1}} = \sqrt{\frac{1}{2 \times 0,9105} \times \frac{82,2574}{21,8271}} = 1,3890 \text{ (2.13)}$$



$$H_{d1} = H_0 \cdot K_s \cdot K_r =$$

$$0,86 \times 1,3890 \times 0,9348 = 1,1182m$$

$$K_d = 0,1504$$

$$H_{d2} = H_2 \cdot K_d = 1,1182 \times 0,1504 =$$

$$0,1681 m$$

Difraksi  $d_1$  ke  $d_2$ , dapat dilihat pada gambar 10



**Gambar 10** Difraksi Gelombang Pada Kedalaman 5 m

$$d_2 = 5 m$$

$$r = 250 m$$

$$\theta_2 = 60^\circ$$

$$\beta_2 = 30^\circ$$

$$L_1 = 116,6930 m$$

$$\frac{d_2}{L_1} = \frac{5}{116,6930} = 0,0428$$

$\frac{d_2}{L_2}$  diinterpolasikan berdasarkan data tabel 2.3

$$\frac{d_2}{L_2} = 0,0864$$

$$L_2 = \frac{d_2}{d_2/L_2} = \frac{5}{0,0864} = 57,8488 m$$

$$\frac{r}{L_2} = \frac{250}{57,8488} = 4,3216 m$$

$\frac{r}{L_2}$  diinterpolasikan berdasarkan tabel 2.4

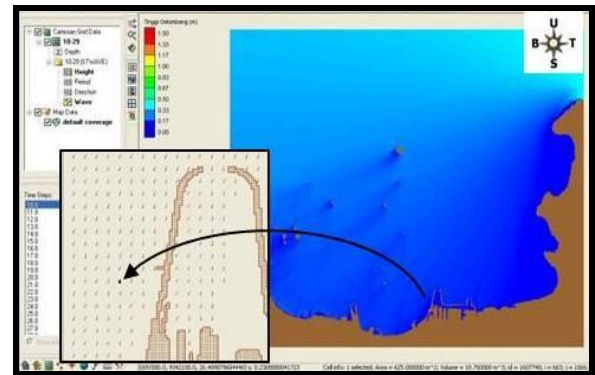
## ANALISA HASIL PEMODELAN

### Validasi Hasil Pemodelan dan Perhitungan Empiris

Validasi hasil pemodelan dan perhitungan empiris dilaksanakan dengan membandingkan  $H_s$  pemodelan dan  $H_s$  perhitungan empiris kemudian divalidasi dengan  $H_s$  hasil pengukuran lapangan .

### Validasi di Pondokdayung

Hasil pemodelan gelombang pada tanggal 10 Juni 2009 dapat dilihat pada gambar 11.



**Gambar 11**  $H_s$  dan  $\theta_{wa}$  Pondokdayung 10 Juni 2009

Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  Data Lapangan terhadap  $H_s$  pemodelan di Pondokdayung:

$$Bias = 0,0107$$

$$RMS Error = 1,36\%$$

Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  Data Lapangan terhadap  $H_s$  perhitungan di Pondokdayung:

$$Bias = 0,0123$$

$$RMS Error = 1,56\%$$

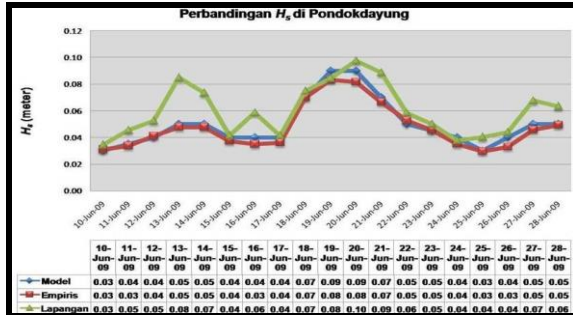
Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  pemodelan terhadap  $H_s$  perhitungan di Pondokdayung:

$$\text{Bias} = 0,0030$$

$$\text{RMS Error} = 0,37\%$$

Tabel perbandingan  $H_s$  pada tanggal 10-28 Juni 2009 dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3** Grafik Perbandingan  $H_s$  Data Lapangan, Pemodelan dan Perhitungan Empiris di Pondokdayung.



Nilai *correlation coefficient*  $H_s$  dan  $V$  di *offshore* sebagai input data pemodelan pada tanggal 10-29 Juni 2009 :

$$\rho = 0,72$$

Komputasi gelombang dan angin pada program *STWave* dan perhitungan empiris bersifat "tunak" (*steady state*) maksudnya tidak berubah terhadap waktu (*time lag nol*,  $\tau = 0$ ).

$$C_{xy}(0) = 0,20$$

$$C_{xx}(0) = 1,11$$

$$C_{yy}(0) = 0,42$$

$$\rho_{xy}(0) = 0,43$$

$$\rho_{yx}(0) = 0,43$$

$$\rho_{xx}(0) = 1$$

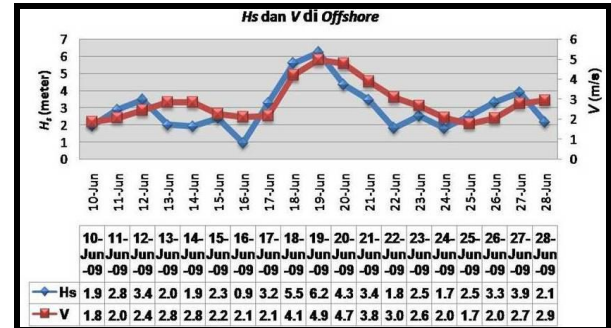
$$\rho_{yy}(0) = 1$$

$$N^* = 17$$

Nilai  $\rho = 0,72$  dengan  $N^* = 17$  pada tabel 3 menunjukkan korelasi antara  $H_s$  dan  $V$  di *offshore* berada pada level kesalahan 1% atau

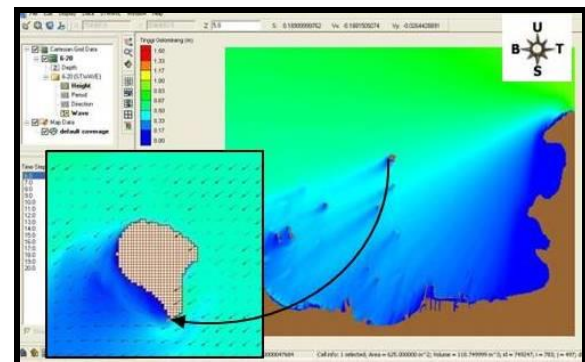
tingkat kepercayaan (*confidence interval*) 99%. Grafik  $H_s$  dan  $V$  di *offshore* pada tanggal 10-29 Juni 2009 dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4** Grafik Korelasi  $H_s$  dan  $V$  di *Offshore* Sebagai *Input* Data Pemodelan Pada Tanggal 10-28 Juni 2009. (nilai  $H_s$  dikalikan 5).



### Validasi di Pulau Damar

Hasil pemodelan gelombang pada tanggal 6 Juli 2009 dapat dilihat pada gambar 12.



**Gambar 12**  $H_s$  dan  $\theta_{wa}$  Pulau Damar 6 Juli 2009

Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  Data Lapangan terhadap  $H_s$  pemodelan di Pondokdayung:

$$\text{Bias} = 0,0347$$

$$\text{RMS Error} = 4,84\%$$

Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  Data Lapangan terhadap  $H_s$  perhitungan di Pondokdayung:

$$\text{Bias} = 0,0368$$

$$\text{RMS Error} = 5,05\%$$

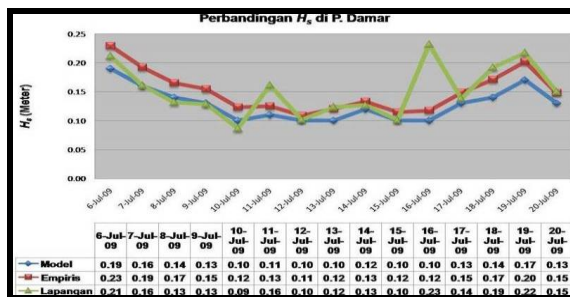
Nilai bias (penyimpangan) dan nilai *RMS Error*  $H_s$  pemodelan terhadap  $H_s$  perhitungan di Pondokdayung:

$$Bias = 0,0056$$

$$RMS\ Error = 0,66\%$$

Tabel perbandingan  $H_s$  di Pulau Damar pada tanggal 6-20 Juli 2009 dapat dilihat pada tabel 5

**Tabel 5** Grafik Perbandingan  $H_s$  Data Lapangan, Pemodelan Dan Perhitungan Empiris Di Pulau Damar



Nilai *correlation coefficient*  $H_s$  dan  $V$  di offshore sebagai *input* data pemodelan pada tanggal 10-29 Juni 2009 :

$$\rho = 0,87$$

Komputasi gelombang dan angin pada program *STWave* dan perhitungan empiris bersifat "tunak" (*steady state*) maksudnya tidak berubah terhadap waktu (*time lag nol*,  $\tau = 0$ ).

$$C_{xy}(0) = 0,10$$

$$C_{xx}(0) = 0,86$$

$$C_{yy}(0) = 0,35$$

$$\rho_{xy}(0) = 0,32$$

$$\rho_{yx}(0) = 0,32$$

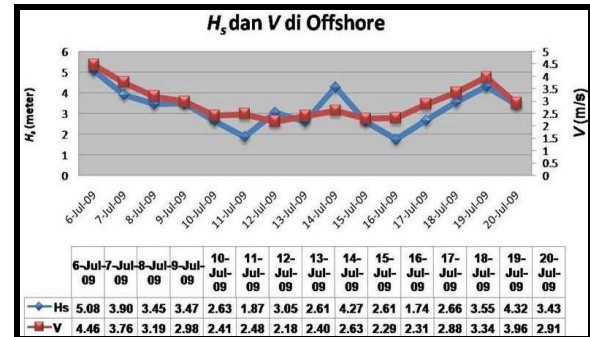
$$\rho_{xx}(0) = 1$$

$$\rho_{yy}(0) = 1$$

$$N^* = 18$$

Nilai  $\rho = 0,87$  dengan  $N^* = 18$  pada tabel 4.1 menunjukkan korelasi antara  $H_s$  dan  $V$  di offshore berada pada level kesalahan 1% atau tingkat kepercayaan (*confidence interval*) 99%. Gambar perbandingan  $H_s$  dan  $V$  di offshore pada tanggal 6-20 Juli 2009 dapat dilihat pada tabel 6.

**Tabel 6** Grafik Korelasi  $H_s$  Dan  $V$  Di Offshore Sebagai *Input* Data Pemodelan Di Pulau Damar. (nilai  $H_s$  dikalikan 5).

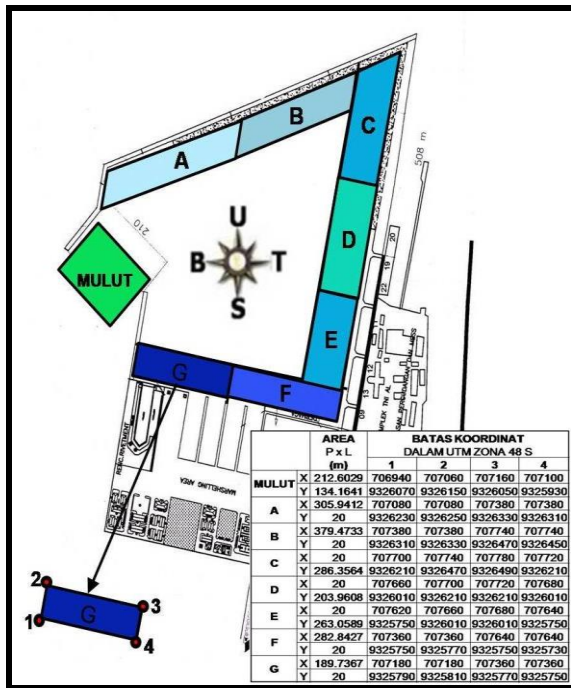


### Pemodelan Gelombang di Teluk Jakarta

Tujuan menerapkan model transformasi gelombang dari lepas pantai (*offshore*) ke mulut dan dalam kolam pelabuhan (*nearshore*) adalah untuk menggambarkan perubahan tinggi gelombang karena *refraksi*, *difraksi* dan *shoaling*.

Pada penelitian ini dilakukan analisa tinggi gelombang rata-rata tiap arah dan analisa tinggi gelombang maksimal tiap arah dari delapan penjurur mata angin di mulut dan di dalam kolam pelabuhan (sesuai rencana pembangunan *breakwater* dan dermaga di dalam kolam pelabuhan Pondokdayung Tanjungpriok Jakarta oleh Disfaslanal), sehingga diperoleh gambaran pengaruh tinggi gelombang yang terjadi dari daerah lepas pantai terhadap kolam pelabuhan. Dalam program *STWave* 3.0 sebagai input model adalah tinggi, arah dan perioda gelombang serta kecepatan dan arah angin permukaan rata-rata tiap arah dan maksimal tiap arah di lepas pantai, sedangkan outputnya berupa parameter-parameter gelombang seperti tinggi gelombang signifikan, periode signifikan dan arah gelombang. Parameter-parameter gelombang tersebut diperlukan untuk mendukung perencanaan pembangunan *breakwater* dan dermaga di dalam kolam pelabuhan, pembagian area kolam pelabuhan dibagi menjadi area

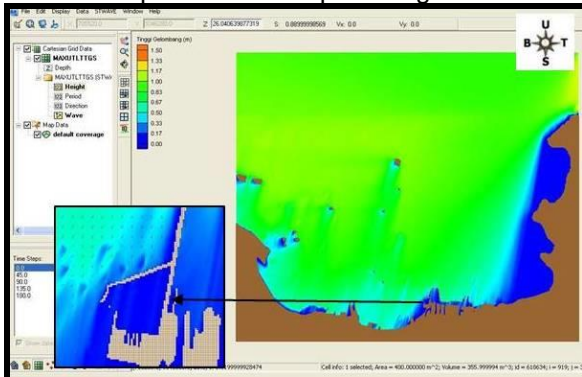
mulut kolam, area A, area B, area C, area D, area E, area F dan area G, dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Pembagian Area Kolam Pelabuhan

### Hasil Pemodelan Rata-rata Tiap Arah

Hasil pelaksanaan pemodelan gelombang rata-rata dari arah utara pada tahun 2008 dengan input data arah angin ( $\theta_{wi}$ )  $0^\circ$ , kecepatan angin ( $v$ ) 1,71 m/s dan periode gelombang ( $T$ ) 5,12 detik serta tinggi gelombang di offshore ( $H_s$ ) 0,76 m, diperoleh nilai  $H_s$  (tinggi gelombang signifikan) di mulut kolam pelabuhan = 0,05 m, area A = 0,01 m, area B = 0,01 m, area C = 0,00 m, area D = 0,00 m, area E = 0,00 m, area F = 0,00 m dan area G = 0,00 m, dapat dilihat dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Arah Utara

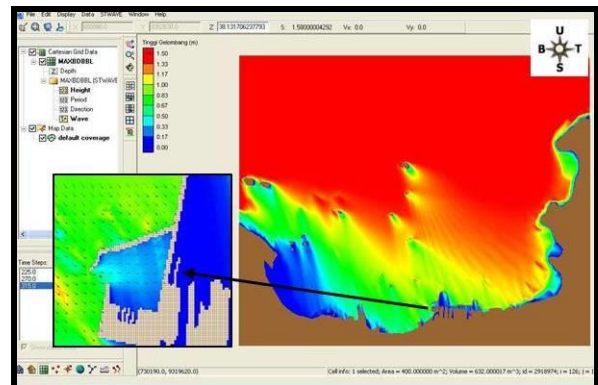
Untuk hasil pemodelan rata-rata arah timur laut, rata-rata arah timur, rata-rata arah tenggara, rata-rata arah selatan, rata-rata arah barat daya, rata-rata arah barat dan rata-rata arah barat laut tahun 2008 pelaksanaan pemodelan dilakukan sama dengan rata-rata arah utara dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Tinggi Gelombang Signifikan Rata-rata Tiap Arah Hasil Model

Arah	$\theta$	Hasil Model								Ket
		Mulut $H_s$ (m)	A $H_s$ (m)	B $H_s$ (m)	C $H_s$ (m)	D $H_s$ (m)	E $H_s$ (m)	F $H_s$ (m)	G $H_s$ (m)	
Utara	B	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TimurLaut	BL	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Timur	U	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Tenggara	TL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Selatan	T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
BaratDaya	U	0.04	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.00	
Barat	TL	0.10	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.01	
BaratLaut	T	0.22	0.05	0.07	0.07	0.10	0.07	0.04	0.02	

### Hasil Pemodelan Maksimal Tiap Arah

Hasil pelaksanaan pemodelan gelombang maksimal dari arah barat laut pada tanggal 18 Februari 2008 jam 07.00 dengan input data arah angin ( $\theta_{wi}$ )  $315^\circ$ , kecepatan angin ( $v$ ) 7,74 m/s dan periode gelombang ( $T$ ) 6,05 detik serta tinggi gelombang di offshore ( $H_s$ ) 1,62 m, diperoleh nilai  $H_s$  (tinggi gelombang signifikan) di mulut kolam pelabuhan = 0,42 m, area A = 0,13 m, area B = 0,18 m, area C = 0,19 m, area D = 0,25 m, area E = 0,18 m, area F = 0,10 m dan area G = 0,04 m, dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15 Tinggi Gelombang Signifikan Maksimal Arah Barat Laut

Untuk hasil pemodelan maksimal arah timur laut, maksimal arah timur, maksimal arah tenggara, maksimal arah selatan, maksimal arah barat daya, maksimal arah barat dan maksimal

arah utara tahun 2008 pelaksanaan pemodelan dilakukan sama dengan maksimal barat laut dapat dilihat pada tabel 8.

**Tabel 8** Tinggi Gelombang Signifikan Maksimal Tiap Arah Hasil Model

Maksimal Tiap Arah	$\theta$	Hasil Model									Keterangan	
		Mulut $H_s$ (m)	A $H_s$ (m)	B $H_s$ (m)	C $H_s$ (m)	D $H_s$ (m)	E $H_s$ (m)	F $H_s$ (m)	G $H_s$ (m)	Tanggal	Jam	
Utara	B	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6-Feb-08	19.10	
TimurLaut	BL	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19-Aug-08	22.00	
Timur	U	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9-Aug-08	4.00	
Tenggara	TL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9-Aug-08	7.00	
Selatan	T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31-May-08	7.00	
BaratDaya	U	0.23	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01	0.00	3-Jan-08	19.10	
Barat	TL	0.30	0.06	0.09	0.09	0.13	0.09	0.05	0.02	2-Jan-08	13.00	
BaratLaut	T	0.42	0.13	0.18	0.19	0.25	0.18	0.10	0.04	18-Feb-08	7.00	

### Manfaat Hasil Pemodelan Bagi Perencanaan Pembangunan Breakwater dan Dermaga di Dalam Kolam Pelabuhan

Dari hasil pemodelan dengan input data di *offshore* tahun 2008 diperoleh tinggi gelombang signifikan di mulut kolam pelabuhan dan di dalam kolam pelabuhan, tinggi gelombang signifikan maksimal yang terjadi yaitu pada arah angin di *offshore* dari barat laut, terjadi pada tanggal 18 Februari 2008 jam 07.00 dengan tinggi gelombang signifikan di mulut kolam pelabuhan = 0,42 m, area A = 0,13 m, area B = 0,18 m, area C = 0,19 m, area D = 0,25 m, area E = 0,18 m, area F = 0,10 m dan area G = 0,04 m.

### Kesimpulan

- Angin merupakan pembangkit gelombang yang paling dominan di *offshore* daerah penelitian, dengan nilai *correlation coefficient* sebesar 0,72 dan 0,87 dengan kesalahan berada pada level 1% atau tingkat kepercayaan (*confidence interval*) 99%.
- Tinggi gelombang rata-rata tiap arah pada tahun 2008 tidak ada yang melebihi angka gelombang kritis.
- Hasil pemodelan maksimal tiap arah pada tahun 2008, diperoleh tinggi gelombang signifikan maksimal terjadi pada arah angin di *offshore* dari barat laut (pada tanggal 18 Februari 2008 jam 07.00) yaitu sebesar 0,25 m pada area D.
- Untuk KRI tipe PSK, FPB, Parchim, semua jenis LST dan LCT, Kondor, BR, PC-36, PC-40, PC Besi, KAL-28 serta kapal angkut personil jenis Karang Pilang tidak di tempatkan di area D.

- Untuk semua tipe KRI selain yang disebutkan di atas dapat di tempatkan di semua dermaga dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan operasional TNI-AL.
- Desain *breakwater* dari *siteplan* Disfaslanal sesuai dengan kebutuhan TNI AL untuk menyediakan tempat bersandarnya KRI.

### Saran

- Untuk validasi model diperlukan data hasil pengukuran lapangan di dua atau lebih tempat pada waktu yang bersamaan sehingga didapatkan tingkat kepercayaan yang optimal.
- Untuk keamanan yang lebih optimal, KRI tipe PSK, FPB, Parchim, semua jenis LST dan LCT, Kondor, BR, PC-36, PC-40, PC Besi, KAL-28 serta kapal angkut personil jenis Karang Pilang tidak di tempatkan pada area B, C dan E, di mana pada area B, C dan E angka gelombang maksimalnya sudah mendekati nilai 0,2 m (nilai gelombang maksimal area B = 0,18 m, area C = 0,19 m dan area E = 0,18 m).
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan memasukkan parameter arus.

### DAFTAR PUSTAKA

- Amirudin, (2008), *Dinamika Lautan*, Modul Kuliah Jurusan Fisika Fakultas MIPA, UNHAS Makassar.
- Dishidros TNI AL,(2009), *Laporan Survei dan Pemetaan Pondokdayung Jakarta*, Jakarta: Dishidros TNI AL.
- Kamphuis,.J.W.(2000), *Introduction to Coastal Engineering and Management*, the Queens University, Canada.
- Kramadibrata,S (1985), *Perencanaan Pelabuhan*, Ganeca Exact, Bandung
- Mabes TNI AL (2001), *Doktrin TNI AL Eka Sasana Jaya*, Jakarta.
- Ningsih,N.S.(2000), *Gelombang Laut*, Diktat Kuliah Program Studi Oseanografi Departemen Geofisika dan Meteorologi, ITB, Bandung.
- Sea-Bird Electronics, INC, (2003), *SBE 26 Seagauge Wave and Tide Recorder Operating Manual*, Bellevue,Washington 98005 US.
- Smith,J.M., Resio, D.T., dan Zundel, A.K.(2001), *User's Manual for STWave Version 3.0*, the Brigham Young University,USA.
- Smith,.J.M, dan Gravens M.B. (2001), *Incident Boundary Condition for Wave*

*Transformation, USA, US Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics, Laboratory, Vicksburg, Mississippi.*

Triatmodjo,B.(1996), *Pelabuhan, Beta Offset*, Yogyakarta.

US. Army Corps of Engineering (2002),*Coastal Engineering Manual.*

*Jane Fighting Ship* (2008)

William J Emery dan Richard E. Thomson (2001), *Data Analysis Methods In Physical Oceanography, University of Colorado, USA.*