# EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR


| | |
|---|---|
| **Nama Mahasiswa** | **: Gorbachev Partahi Bonar** |
| **NRP** | **: 3110 100 106** |
| **Jurusan** | **: Teknik Sipil FTSP-ITS** |
| **Dosen Pembimbing** | **: Fuddoly., Ir., M.Sc** |
| | **: Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi** |


## ABSTRAK


*Breakwater adalah prasanana yang dibangun sebagai pemecah ombak / gelombang dengan menyerap sebagian energi gelombang yang datang. Breakwater digunakan untuk mengendalikan abrasi yang menggerus garis pantai dan untuk menenangkan gelombang dipelabuhan sehingga kapal dapat bermanuver dipelabuhan dengan lebih mudah dan cepat. Pemecah gelombang harus didesain sedemikian sehingga arus laut tidak menyebabkan pendangkalan karena pasir yang ikut dalam arus mengendap di kolam pelabuhan. Bila hal ini terjadi maka pelabuhan perlu dikeruk secara reguler.*

*Struktur breakwater waikelo ini runtuh akibat diterjang gelombang mencapai tinggi 5 meter dengan kecepatan angin mencapai 23 knot pada 21 Januari 2012. Tercatat bahwa terjadi gempa sebesar 6,3 SR yang menyebabkan keruntuhan beberapa bagian breakwater, sehingga beberapa fasilitas dermaga Waikelo mengalami kerusakan akibat gelombang yang langsung menghantam dermaga. Mengetahui permasalahan tersebut perlu dilakukan evaluasi layout dan struktur breakwater yang sesuai dengan data dilapangan, sehingga fungsi dari breakwater dan dermaga waikelo dapat terpenuhi untuk kebutuhan transportasi warga.*

*Breakwater ini direncanakan ulang dengan sepenuhnya menggunakan tipe monolith. Breakwater ini dibangun dengan terdiri dari dua segmen yang membentang dari arah barat daya dengan kedalaman -4mLWS ke arah timur laut sampai kedalaman –20 mLWS sepanjang 61,19 meter, kemudian membelok ke arah timur mengikuti kontur -20 mLWS sepanjang 88,50 meter. Satu segmen breakwater sebelah timur yang sebelumnya sudah ada, memanjang tegak lurus garis pantai ke arah laut.*

*Total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan struktur breakwater waikelo ini adalah sebesar Rp. 86.225.768.000,00.*

***Kata Kunci*** *: Breakwater, Waikelo, Monolith, Pemodelan, Struktur, Metode Pelaksanaan, Rencana Anggaran Biaya.*

**EVALUATION AND RE-DESIGN OF BREAKWATER AT CROSSING HARBOUR (FERRY) IN WAIKELO, WEST SUMBA, NUSA TENGGARA TIMUR.**


| | |
|---|---|
| **Student's Name** | **: Gorbachev Partahi Bonar** |
| **NRP** | **: 3110 100 106** |
| **Department** | **: Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning – ITS** |
| **Mentors** | **: Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi** |
| | **: Ir. Fuddoly, MSc.** |


## ABSTRACT


*Breakwater is an infrastructure that is build as the wave breaker which absorbs half of the coming wave. Breakwater is used to control the abration which erodes the shoreline and also to calm the wave down at the harbor so that the ship can maneuver easily and fast. Breakwater must be designed just to prevent the pond of the harbor be silting up by the sand that carried by the current. If this happen, the harbor must be dredged up regularly.*

*The Structure of Waikelo breakwater collapsed because of the wave that coming in 5 meters high with velocity of the wind by 23 knots in January, 21st 2012. There was an earthquake, 6,3 SR that make half of the breakwater collapse, which caused the damage some of the Waikelo harbor facilities by the wave that hit them directly. As the problems mentioned above, it is important to evaluate the layout and its structure according to the real data, so that the function of the breakwater and the harbor of Waikelo be fulfilled for the citizen transportation.*

*This breakwater is fully re-designed using monolith type. This breakwater consist of two segments which stand 61,19 meters long from elevation -4 mLWS to -20 mLWS north east and then going along east ward by 88,50 meters long, elevation -20 mLWS. There is a segment of breakwater in east side that has been build perpendicular from the shoreline toward the sea.*

*The total cost required to build this breakwater of Waikelo is Rp. 86.225.768.000,00.*

***Keyword :*** *Breakwater, Waikelo, Monolith, Wave Modeling, Structure, Construction Method, Total Cost.*

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1. Umum

Menurut PP No. 1 Tahun 2001 “Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi”. Menurut Triatmodjo, B. “Pelabuhan adalah perairan terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga, alat bongkar muat (kran), gudang, lapangan penumpukan”.

Wilayah DLKR (Daerah Lingkungan Kerja) pelabuhan terbagi menjadi wilayah perairan dan wilayah daratan. Wilayah perairan terdiri dari alur pelayaran, kolam pelabuhan dan breakwater. Sedangkan wilayah daratan terdiri dari terminal-terminal, baik itu untuk barang maupun penumpang. Terminal dibedakan berdasarkan jenis muatan yang ditanganinya.

## 2.2. Bathymetri

Peta Bathymetri diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman laut di sekitar lokasi pekerjaandari posisi 0,00m LWS, pada beberapa peta untuk keperluan tertentu digunakan patokan 0,00m CD (Chart Datum = MSL) (Iriani, Dyah). Sehingga dalam perencanaan dermaga, dapat disediakan kedalaman dasar laut atau dasar sungaiyang cukup untuk beroperasi kapal tersebut.

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan Bathymetri terdiri beberapa alat pendukung diantaranya Handy talki, bendera (menara tonggak), dan perahu boat, sedang alat yang utama adalah alat ukur jarak Theodolith dan alat ukur kedalaman Echo sounder.

Data yang dihasilkan dari survey bathymetri yaitu data letak theodolit di darat, posisi di perairan dan data kedalaman air perairan. Data-data tersebut kemudian diolah menjadi data :

- Koordinat titik-titik referensi darat.
- Koordinat titik-titik posisi.
- Angka-angka kedalaman air laut.

Hasil pengukuran dapat diplot secara manual atau diolah menggunakan komputer. Selanjutnya hasilnya dituangkan pada kertas gambar. Garis-garis kontur peta digambar untuk tiap interval –0.5 sampai –1.0 m LWS atau dengan perbedaan hingga –10 m untuk peta laut dalam. Adanya berbagai benda yang menghalangi atau berbahaya di dasar sungai juga perlu ditandai. Dari peta tersebut dapat diketahui kelandaian/ kemiringan dasar laut yang paling optimal dan efisien sehingga dapat direncanakan posisi yang tepat untuk suatu bangunan dermaga.

## 2.3. Hydro-Oseanografi

### 2.3.1 Angin

Angin adalah udara yang bergerak dari daerah dengan tekanan udara tinggi ke daerah dengan tekanan udara rendah.Angin muncul sebagai hasil dari pemanasan di permukaan bumi, sehinggaterjadi perbedaan tekanan udara. Data angin berfungsi untuk mengetahui kecepatan angin tepat di rencana lokasi pelabuhan yang berguna untuk mengetahui tekanan angin pada kapal. Data dapat diperoleh dari stasiun metereologi terdekat atau dari bandar udara terdekat. Atau bila diperlukan dilakukan pengukuran langsung dengan anemometer dan peralatan pendukungnya yang disurvey selama minimal setahun terus menerus.

Bentuk lain untuk menggambarkan keadaan angin di suatu tempat yaitu dengan memakaiWindroses. Windroses menunjukkan agihan arahangin menurut mata angin dan panjang garis menurut mata angin menyatakan frekuensikejadiannya pada arah yang bersangkutan

Pengetahuan sifat angin sangat penting bagi perencanaan pelabuhan karena:

- Angin mempunyai pengaruh besar dalam pengendalian kapal (*manuver*), terutama pendekatan kapal pada “mulut” pelabuhan;
- Angin menimbulkan gaya-gaya horizontal yang perlu dipikul konstruksi pelabuhan;
- Angin mengakibatkan gelombang laut, gelombang ini menimbulkan gaya-gaya tambahan yang wajib dipikul konstruksi bangunan pantai.

### 2.3.2 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan lebih kecil dari massa matahari, tetapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari.

Data pasang surut dipergunakan untuk melengkapi kebutuhan penggambaran peta bathymetri (peta kontur kedalaman laut), dan mengetahui posisi muka air laut absolut terendah, dan pola pasang surutnya. Selanjutnya posisi air surut terendah berdasar pola pasang surut setempat digunakan sebagai acuan untuk penetapan elevasi kontur tanah dan elevasi seluruh bangunan, sehingga kondisi kedalaman perairan dan elevasi posisi kering dari struktur dan wilayah darat dapat ditentukan. Pada posisi Bulan ditengah antara Bumi dan matahari akan terjadinya rangkaian pasang dan surut yang perbedaannya besar disebut *Spring tide*, sedang pada posisi Bumi diantara Bulan dan matahari akan menghasilkan *Neap tide.*

Komponen penting yang perlu diketahui sebagai hasil analisis data pasang surut adalah :

- LWS (Low water Spring) merupakan hasil perhitungan level muka air rata-rata terendah (surut), sering disebut juga MLWS (Mean Low Water Surface).
- MSL (Mean Sea Level) adalah elevasi rata-rata muka air pada kedudukan pertengahan antara muka air terendah dan tertinggi.
- HWS (High Water Spring) adalah elevasi rata-rata muka air tertinggi(pasang), disebut juga MHWS (mean high water surface).

### 2.3.3 Arus

Arus yang terjadi di sungai atau pantai terjadi oleh pengaruh yang sifatnya lokal seperti akibat pergerakan angin, perbedaaan kerapatan/densitas air, perbedaan suhu air, perbedaan pasang surut dan perbedaaan ketinggian muka tanah dasar.

Analisa data yang dilakukan untuk data arus adalah dengan menganalisa hubungan diagram kecepatan arus dengan kedalaman. Selain itu juga dilakukan analisa untuk mengetahui kecepatan dan arah arus maksimum yang terjadi. Analisa data ini bertujuan untuk mengetahui tekanan arus serta kelayakannya untuk kapal berlabuh, dimana disyaratkan kecepatan maksimum arus sebesar 4 knot atau 2 m/dt.

Kegunaan data arus pada perencanaan pelabuhan untuk :

- Menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus kapal (cross current), agar dapat bermanuver dengan cepat dan mudah serta dalam rangka evaluasi kondisi stabilitas garis pantai.
- Pada pelabuhan yang berada di sungai, data arus digunakan untuk menghitung debit air, intrusi air laut, sedimen transport, arah membeloknya delta sungai, dan sebagainya.

## 2.4 Gelombang

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

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air *d* dan panjang gelombang *L*, (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu :

- Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
- Gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < ½$
- Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq ½$

Gambar 2.1. menunjukkan suatu gelombang yang berada pada system koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah :

d : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)

Ƞ: Fluktuasi muka air terhadap muka air diam

a : Amplitudo

H:Tinggi gelombang

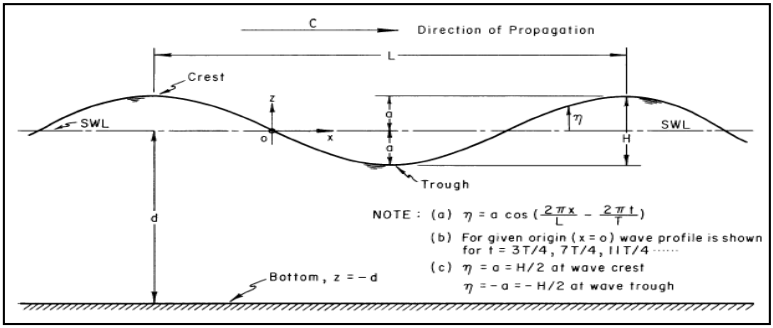
L : Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan

T: Periode gelombang, yaitu interval wakyu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C: Kecepatan rambat gelombang = L/T

k : Angka gelombang = $2\pi/L$

σ : Frekuensi gelombang = $2\pi/T$




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar 2.1** Sketsa definisi gelombang

### 2.4.1 Deformasi Gelombang

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah.

#### 2.4.1.1Refraksi

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di daerah di mana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu di laut dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhidasar laut. Tetapi di laut transisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Di daerah ini bila ditinjau suatu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil daripada bagian air dalam. Akibatnya garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut. Garis orthogonal gelombang, yaitu garis yang tegak lurus dengan puncak dan menunjukkan arah penjalaran gelombang, juga akan membelok dan berusaha untuk menuju tegak lurus dengan garis kontur dasar laut. Seperti terlihat dalam gambar 2.2.

Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang berdasarkan

karakteristik gelombang datang. Sehingga persamaan tinggi gelombang akibat pengaruh refraksi dan pendangkalan gelombang dapat dilihat dalam persamaan (2.1) dan (2.2) yaitu :

$$\frac{H}{Ho} = \sqrt{\frac{n_o \cdot L_o}{n \cdot L}} \cdot \sqrt{\frac{b_o}{b}} \qquad (2.1)$$

$$H = Ks \cdot Kr \cdot Ho \qquad (2.2)$$

Keterangan :

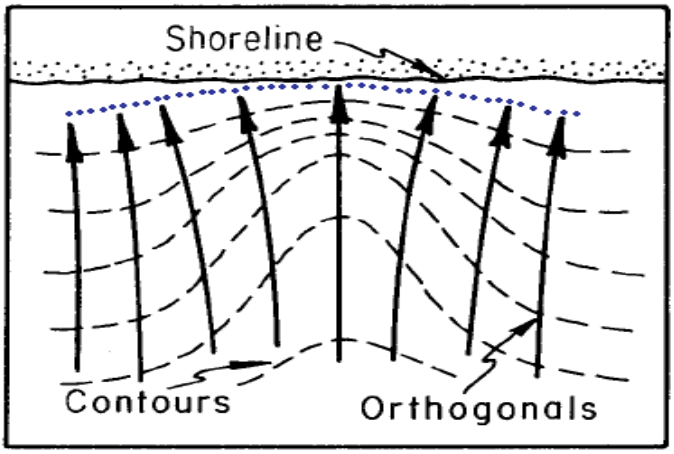
H : Tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau

$H_o$ : Tnggi gelombang di laut dalam

b : Jarak orthogonal pada kedalaman yang ditinjau

$b_o$ : Jarak orthogonal di laut dalam

$L_o$ : 1.56 x $T^2$ (T: Periode)\



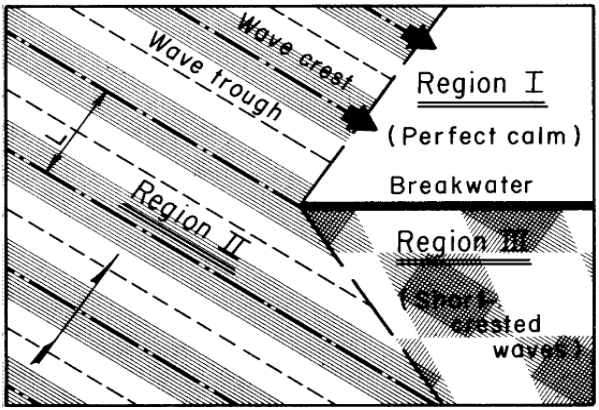

(*Sumber :Teknik Pantai, 1999*)

**Gambar 2.2** Refraksi Gelombang

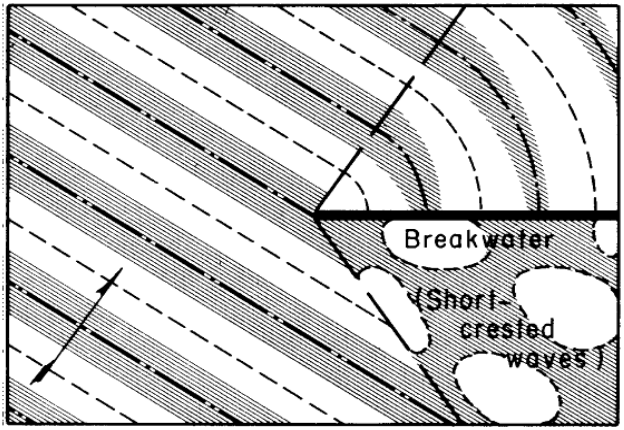
Koefisien pendangkalan Ks merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air. Koefisien tersebut untuk berbagai nilai d/$L_o$ dapat dilihat dalam tabel. Koefisien refraksi Kr merupakan akar dari perbandingan jarak orthogonal di laut dalam dengan kedalaman yang ditinjau.

### 2.4.1.2 Difraksi

Difraksi gelombang terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti *breakwater* atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya ; terlihat dalam gambar 2.3 a dan b.




**Gambar 2.3a.** Tanda difraksi




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar2.3b.** Mengalami Difraksi

Apabila tidak terjadi difraksi gelombang, daerah di belakang rintangan akan tenang tetapi karena adanya proses difraksi maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang datang.

Persamaan Tinggi gelombang akibat pengaruh difraksi gelombang dapat dilihat dalam persamaan 2.3. Dengan K' merupakan koefisien difraksi yang merupakan perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang. Nilai K' untuk θ, β, r/L tertentu dapa dilihat dalam tabel difraksi.

$$H_A = K' \cdot H_P \qquad (2.3)$$

Keterangan :

$H_A$ : Tinggi gelombang yang ditinjau

$H_P$ : Tinggi gelombang di ujung rintangan

### 2.4.1.3 Refleksi

Gelombang datang yang mengenai/membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam pelabuhan. Fluktuasi muka air ini akan menyebabkan gerakan kapal-kapal yang ditambat, dan dapat menimbulkan tegangan tali yang besar pada tali tambatannya. Untuk mendapatkan ketenangan di dalam pelabuhan maka bengunan-bangunan di dalamnya harus dapat menyerap energy gelombang. Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi *Hr* dengan tinggi gelombang datang *Hi* :

$$X = \frac{H_r}{H_i} \qquad (2.4)$$

Koefisien reflaksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam tabel 2.1

**Tabel 2.1** Koefisien Reflaksi

| Tipe Bangunan | X |
|---|---|
| Dinding vertikal dengan puncak di atas air | 0.7-1.0 |
| Dinding vertikal dengan puncak terendam | 0.5-0.7 |
| Tumpukan batu sisi miring | 0.3-0.6 |
| Tumpukan blok beton | 0.3-0.5 |
| Bangunan vertical dengan peredam energy (diberi lubang) | 0.05-0.2 |

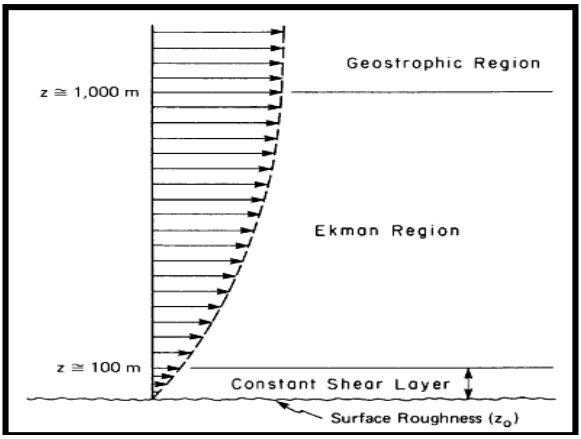
(*Sumber :Teknik Pantai, 1999*)

### 2.4.2 Peramalan Gelombang

Gelombang yang ada di alam tidaklah teratur dan sangat kompleks dimana masing-masing gelombang di dalam deretan gelombang mempunyai sifat-sifat berbeda, sehingga gelombang alam tersebut harus dianalisa secara statistik. Peramalan gelombang dimaksudkan untuk mentransformasikan data angin menjadi data gelombang.

#### 2.4.2.1 Kecepatan Angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut diberikan dalam gambar 2.4., yang terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah ekman yang berada pada elevasi 100 m sampai 1000 m dan daerah antara 10 m sampai 100 m. Di daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar 2.4** Distribusi vertikal kecepatan angin

Pengukuran data angin di permukaan laut adalah yang paling sesuai dengan peramalan gelombang. Data angin dari pengukuran kapal perlu dikoreksi dengan menggunakan persamaan 2.4 berikut:

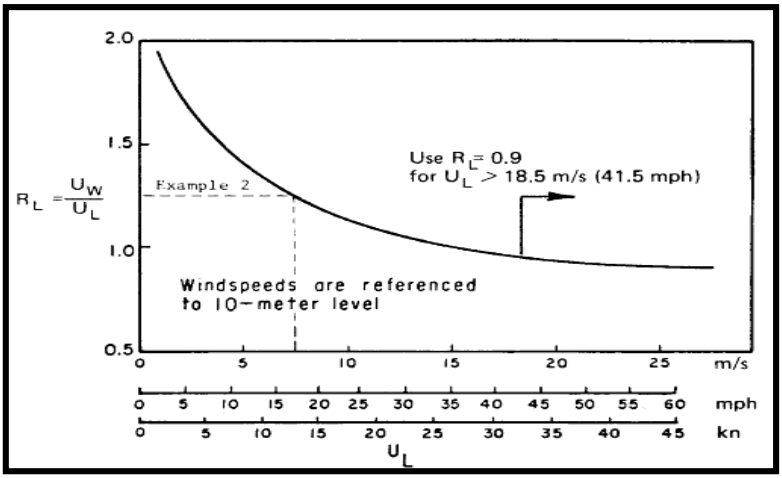
$$U = 2.16 \cdot u_s^{7/9} \qquad (2.5)$$

Keterangan :

Us : Kecepatan angin yang diukur oleh kapal (knot)

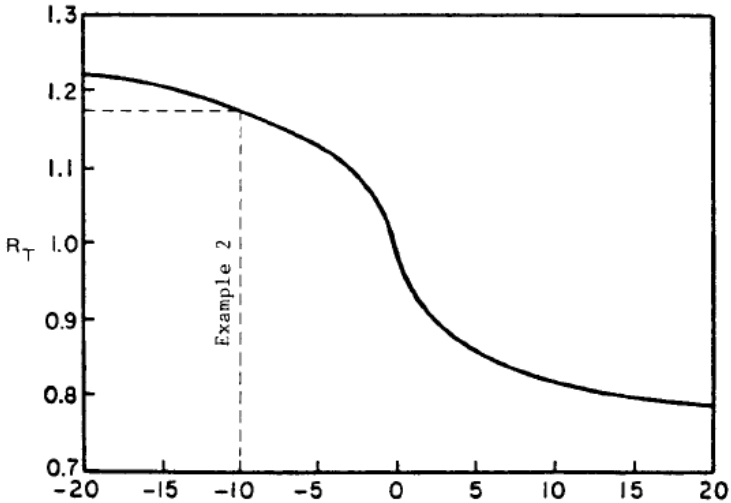
U : Kecepatan angin terkoreksi (knot)

Biasanya pula pengukuran angin dilakukan di darat, padahal di dalam rumusannya data angin yang digunakan adalah yang ada di permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan di darat terdekat diberikan oleh $R_L = U_W/U_L$ seperti dalam gambar 2.5, serta koreksi terhadap suhu ($R_T$)gambar 2.6.




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar 2.5.** Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar 2.6.** Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

### 2.4.2.2 Fetch

Fetch adalah daerah dimana kecepatan dan arah angin konstan. Panjang fetch membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, sehingga mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. Fetch ini berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. Fetch rerata efektif diberikan pada persamaan di 2.5.

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

Keterangan :

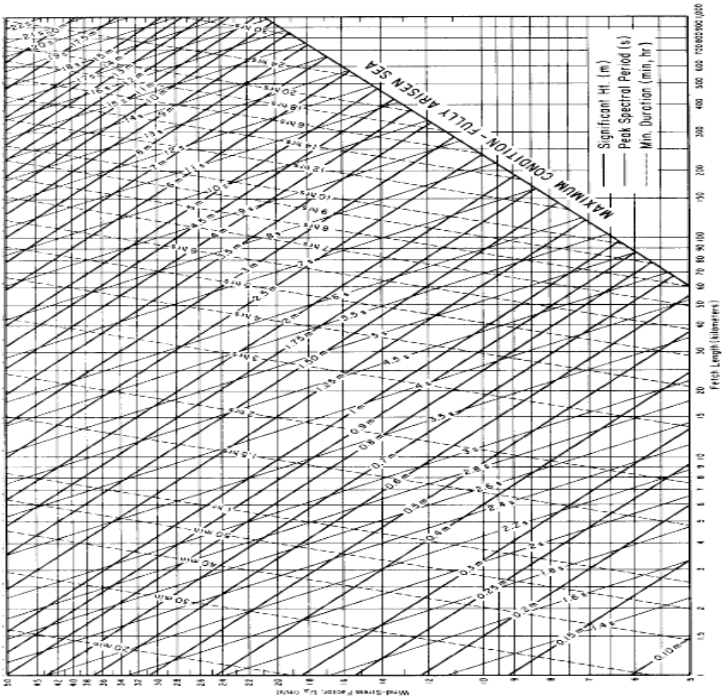
Feff : Fetch rerata efektif

Xi :Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch.

α : Deviasi pada kedua sisi arah angin

### 2.4.2.3 Peramalan Gelombang Di Laut Dalam

Berdasarkan pada beberapa factor di atas, peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan grafik pada gambar 2.7. Dari grafik tersebut apabila panjang fetch (*F*), factor tegangan angin ($U_A$) dan durasi diketahui maka tinggi dan periode gelombang signifikan dapat dihitung.




(*Sumber :SPM, 1984*)

**Gambar 2.7** Grafik peramalan gelombang

## 2.5 Gempa

Tata cara dalam gempa rencana menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dengan perencanaan dan evaluasi struktur bangunan breakwater serta berbagai bagian
Dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasikan sebagai kelas situs SA, SB, SC,SD, SE, atau SF yang mengikuti pasal 5.3 RSNI 03-1726-2012. Bila sifat-sifat

tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situs-nya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF (SNI 03-1726-2012 asal 6.1.2).

Untuk menentukan respon spektral percepatan gempa $MCE_R$ di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ($F_a$) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ($F_v$). Parametr spektrum respons percepatan pada perioda pendek ($S_{MS}$) dan perioda 1 detik ($S_{M1}$) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

Keterangan :

$S_S$ = parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk perioda pendek;

$S_1$ = parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan untuk period 1,0 detik.

Dan koefisien situs $F_a$dan $F_v$ mengikuti Tabel 4 dan Tabel 5. Jika digunakan prosedur desain sesuai dengan pasal 8, maka nilai $F_a$ harus ditentukan sesuai pasal 8.8.1 serta nilai $F_v$, $S_{MS}$, dan $S_{M1}$ tidak perlu ditentukan (SNI 03-1726-2012 pasal 6.2).

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa ($MCE_R$) terpetakan pada perioda pendek, T=0,2 detik, $S_S$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $S_S \leq 0,25$ | $S_S = 0,5$ | $S_S = 0,75$ | $S_S = 1,0$ | $S_S \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1 | 1 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS[b] | | | | |

**Tabel 2.2.** Koefisien situs, $F_a$

Catatan :

(a) Untuk nilai-nilai antara $S_S$ dapat dilakukan interpolasi linier
(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 03-1726-2012 pasal 6.10.1

(c)

| Kelas situs | Parameter respon spektral percepatan gempa ($MCE_R$) terpetakan pada perioda 1 detik, $S_S$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $S_S \leq 0,1$ | $S_S = 0,2$ | $S_S = 0,3$ | $S_S = 0,4$ | $S_S \geq 0,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | $SS^b$ | | | | |

**Tabel 2.3.** Koefisien situs, $F_v$

Catatan :

(a) Untuk nilai-nilai antara $S_1$, dapat dilakukan interpolasi liniet
(b) SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons situs-spesifik, lihat SNI 03-1726-2012 pasal 6.10.1

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, $S_{DS}$ dan pada perioda 1 detik, $S_{D1}$, harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai $S_{DS}$ harus ditentukan sesuai pasal 8.8.1 dan nilai $S_{D1}$ tidak perlu ditentukan (SNI 03-1726-2012 pasal 6.3).

Bila respons spektrum desain diperukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 2.8 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari $T_0$, spektrum respons percepatan desain, $S_a$, harus diambil dari persamaan;
$$S_a\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{T_0}\right)$$
2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan $T_0$ dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts, spektrum respons percepatan desain, $S_a$, sama dengan $S_{DS}$;
3. Untuk perioda lebih besar dari $T_s$, spektrum respon percepatan desain, $S_a$, diambilberdasarkan persamaan :
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

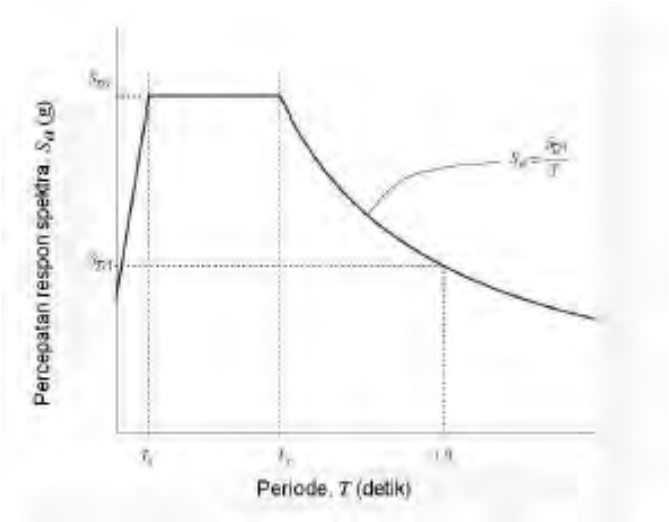
$S_{DS}$ = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

$S_{D1}$ = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik;

T = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0{,}2\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$




**Gambar 2.8.** Spektrum respons desain

Peta-peta gerak tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum (Maximum Considered Earthquake, MCE) yang ditunjukkan pada gambar II.4.1 sampai II.4.5 diperlukan untuk menerapkan ketentuan-ketentuan beban gempa dalam standar SNI 03-1726-2012.

## 2.6 Breakwater

Breakwater atau pemecah gelombang merupakan pelindung utama bagi pelabuhan buatan. Tujuan dibuatnya breakwater ini adalah :

- Melindungi bangunan di dalamnya dari gelombang yaitu memperkecil tinggi gelombang yang datang, sehingga kapal dapat memasuki areal pelabuhan dengan tenang dan proses bongkar muat atau peratan kapal dapat berjalan dengan lancar. Persyaratan tinggi gelombang maksimum untuk kapal dapat melakukan proses bongkar muat berbagai jenis muatan, secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.2 dengan satuan sebagai berikut:

Cargo ships: GT = 0.541DWT
Container ships: GT = 0.880DWT
Oil tankers: GT = 0.553DWT
Roll-on/roll-off vessels: GT = 0.808DWT

**Tabel 2.4** Tinggi gelombang maksimum untuk bongkar muat muatan

| **Ukuran Kapal** | ***Tinggi Gelombang ($H_{1/3}$)*** |
|---|---|
| Kapal Kecil (< 500 GT) | 0,3 m |
| Kapal Sedang ( 501 – 50.000 GT) | 0,5 m |
| Kapal Besar (> 50.000 GT) | 0,7 - 1,5 m |

(*Sumber : Technical Standart for Port and Harbour Facilities in Japan, 1991*)

- Mengurangi kebutuhan pengerukan di dalam wilayah pelabuhan. Sedimen yang masuk ke dalam wilayah pelabuhan sudah tertahan oleh breakwater atau pemecah gelombang yang ada.
- Menghindarkan arah perjalanan kapal dari pengaruh *cross current*, biasanya terjadi di mulut breakwater dan mulut muara sungai.
- Dapat juga digunakan sebagai tambatan untuk muatan berbahaya yang harus diletakkan cukup jauh dari areal pelabuhan.
- Sebagai pelindung pantai atau areal reklamasi dari hantaman gelombang.

  Breakwater sendiri memiliki berbagai macam bentuk-bentuk dasar dan syarat-syarat teknisnya yaitu :
- Gelombang disalurkan melalui suatu dinding batu miring yang terbuat dari batuan alam (*rubble mounds*), sehingga energi gelombang dihilangkan secara gravitasi, karena

gelombang pecah baik di permukaan atau melalui celah-celah batu. Batu-batuan alam tersebut dapat juga diganti dengan bentuk-bentuk buatan misalnya terbuat dari beton bertulang sebagai :*tetrapods, quadripods, hexapods, tribars, modified cubes* atau *dolos*. Pemakaian batuan buatan ini yaitu apabila pada lokasi yang direncanakan sukar didapatkan batu alam yang sesuai beratnya dengan kebutuhan;

- Dengan membangun dinding tegak (*wall type*) yang cukup ketinggiannya dan kekuatannya sehingga gelombang tersebut dapat didefraksikan dan dihapuskan karena pecahnya gelombang. Dinding vertical ini dapat berbentuk macam-macam misalnya :*caissons* silindris, kotak (*box*), turap baja atau beton dan sebagainya.
- Pemecah gelombang campuran yang merupakan gabungan dari pemecah gelombang sisi miring dan dinding sisi tegak. Tipe pemecah gelombang ini diperlukan jika kedalaman perairan yang cukup besar.
- *Floating Breakwater* adalah pemecah gelombang yang dibuat mengapung diatas permukaan air sehingga energi kinetik dan dinamik bersamaan diredam oleh konstruksi (Harms,1979).

### 2.6.1. Breakwater Rubble Mount

Pada tipe rubble mound struktur breakwater ini direncanakan terbagi menjadi tiga lapisan. Lapisan pertama adalah lapisan pelindung (primary layer), lapisan kedua (secondary layer), dan lapisan inti (core layer). Disamping itu ada lapisan tambahan yaitu bahu (berm) dan lapisan bawah (filter layer) serta lapisan bawah.

a. Lapis pertama, penentuan berat batu (armour unit) pada primary layer dapat diketahui berdasarkan persmaan 2.6., yang dikembangkan oleh Hudson (1953) terhadap model data di lapangan angkatan

darat Amerika Serikat (USA-CE, waterway axperiment station, Vickburg, Missisipi).

$$W = \frac{\rho_a \cdot g \cdot H^3}{K_D \cdot \Delta^3 \cdot \cot\theta} = [\text{ton}] \qquad (2.28)$$

Keterangan :

$\rho_a$ = Densitas (berat jenis) dari setiap unit armor [ton/m$^3$]

g = Percepatan gravitasi : 9.8 m/s$^2$.

H = Tinggi gelombang rencana berdasar analisis statistik gelombang yang merupakan tinggi gelombang signifikan ($H_s$) [m]

$K_D$ = Koefisian kerusakan, merupakan kombinasi tampilan bentuk dari tiap unit, kekasaran bentuk, tingkat saling mengunci, kedalaman di lokasi, berdasarkan Tabel 2.4.

$$\Delta = \frac{\rho_a \cdot \rho_w}{\rho_w} \pi r^2 \qquad (2.29)$$

$P_w$ = Berat jenis air laut : 1.03 (ton/m$^3$)

$\theta$ = Sudut kemiringan breakwater

b. Lapis Kedua (Ws),ditentukan berdasar berat armor unit yaitu:

   Ws = 1/10 sampai 1/15 W (2.30)

   Pada sisi laut, letak ujung bawah lapisan pertama sedikitnya 1,5 sampai 2 kali H dibawah posisi air surut (LWS), sedang pada sisi pelabuhan sedikitnya 0,5 sampai 1 kali H dibawah LWS (Gambar 2.16).

c. Lapis Ketiga (Wt), umumnya lapisan ini ditiadakan untuk mempermudah pelaksanaan dan dijadikan satu dengan lapisan inti (sistem 2 lapisan), tetapi bila memungkinkan dapat diadakan (sistem 3 lapisan) yaitu:

   Wt = 1/200 W (2.31)

d. Lapisan Inti (core layer, Wc),bila sistem 2 lapisan kisaran berat tiap lapisan tercampur antara lapisan ketiga dan murni lapisan inti:

$$Wc = 1/4000 \ W \qquad (2.32)$$

e. Lapisan filter, berada diatas lapisan tanah dasar asli dan berfungsi memeratakan beban serta menahan lapisan batuan diatasnya agar tidak menunjam masuk ke dalam tanah dasar tersebut. Disamping itu lapisan ini juga dapat melindungi struktur dari perbedaan tekanan gelombang, arus, ground water flow, yang dapat menimbulkan perubahan mendadak pada struktur tanah dan breakwater dan pada akhirnya menimbulkan penurunan (settlement).

   Struktur breakwater tidak membutuhkan lapisan filter bila kondisi diatas diperkirakan tidak terjadi, atau bila kedalaman lebih dari 3 Hmax, dan kecepatan arus sangat rendah, serta bila tanah fondasi sangat keras (lapisan batuan).

   Bahan yang digunakan berupa butiran agregat dengan ukuran yang sama dengan lapisan inti, atau menggunakan geotextile yang diberi ikatan beton, atau menggunakan lapisan bambu berupa ‘gedek guling’ atau batang yang disusun bersilang.

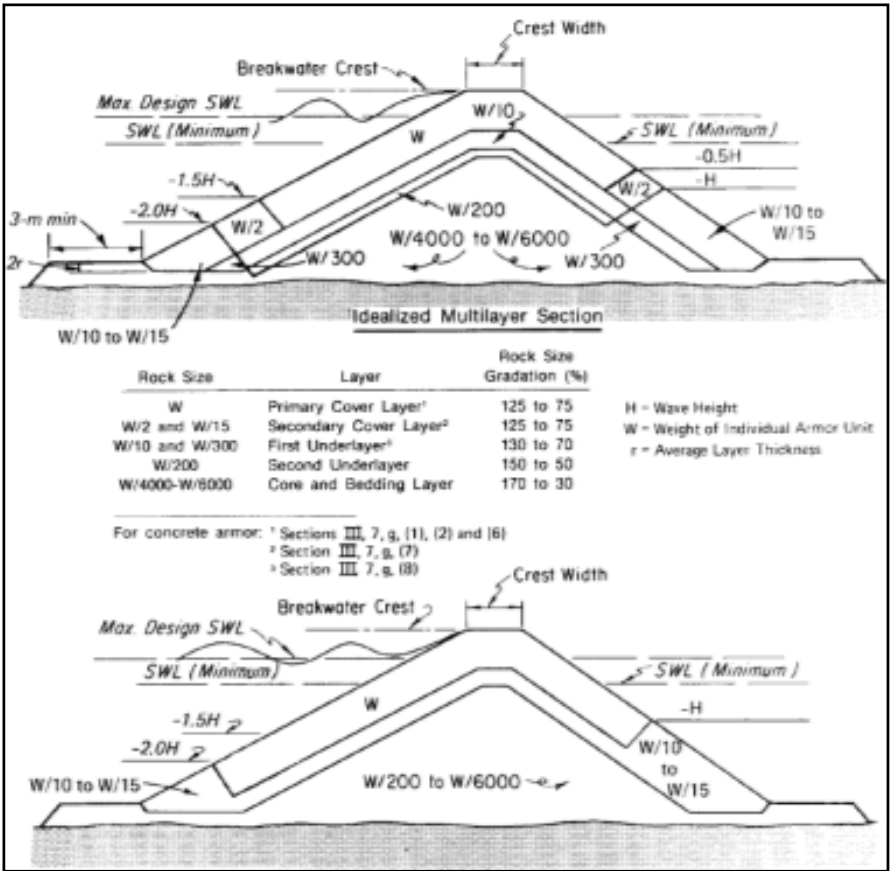
   Tebal lapisan mencapai 1,5 m untuk penggunaan batuan, atau disesuaikan kebutuhan untuk geotextile.

   Lapisan filter dapat diperpanjang sampai jatuh diluar posisi lapisan ujung bawah sejauh 4 sampai 6 kali kedalaman perairan, untuk menghindarkan dari pengaruh scouring. Bahan yang digunakan sebaiknya dari batuan seukuran core layer.

f. Lapisan Ujung Bawah (Toe Berm), diletakkan dibawah lapisan pertama untuk menahan terhadap tekanan gelombang. Diletakkan dibawah ujung bawah lapisan pertama, dan hanya pada sisi yang menghadap laut. Bila kedalaman dari posisi lapisan ini tidak mencukupi terhadap syarat sebesar 1,5 – 2 H maka dapat diletakkan dengan cara mengeruk terlebih dulu

lapisan tanah dasarnya hinga tercapai kebutuhan kedalaman tersebut.

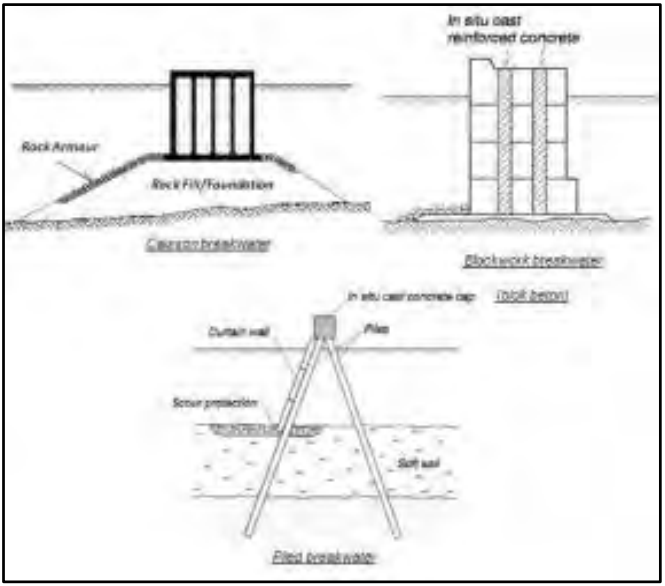
Lebar permukaan ditentukan berdasar rumus lebar lapisan permukaan dengan berat agregat 1/10 W dan jumlah material terpasang 2 –3 unit. Tebal struktur minimal 2 unit disusun diatas lapisan filter.



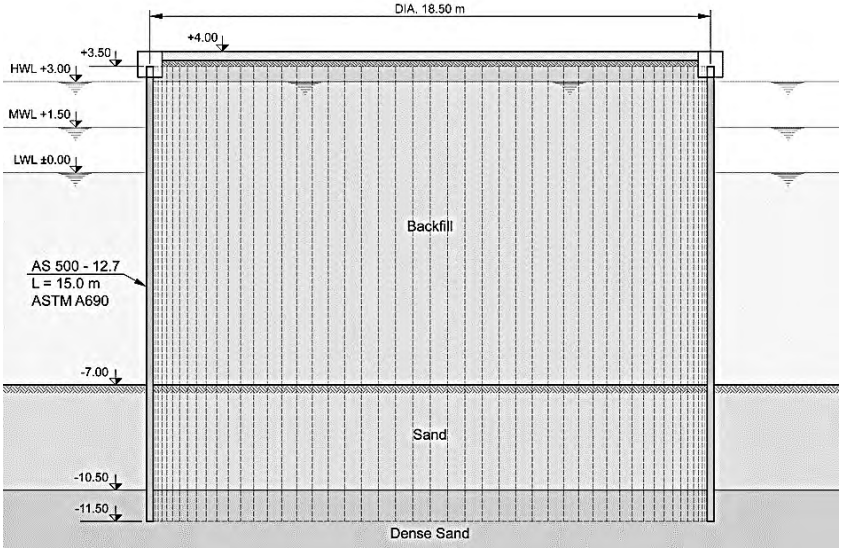

**Gambar 2.9.** Potongan Penampang Non Overtopping Breakwater dengan Serangan Gelombang pada Satu Sisi.
*(Sumber : Shore Protection Manual, 1984)*

### 2.6.2. Breakwater Sisi Tegak (Monolith)

Untuk tipe sisi tegak pemecah gelombang bisa dibuat dari material-material seperti pasangan batu, sel turap baja yang didalamnya di isi tanah atau batu, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaison beton dan lain sebagainya. (Dapat dilihat pada **Gambar 2.10**)




**Gambar 2.10.** Berbagai jenis breakwater sisi tegak




**Gambar 2.11.** Monolith menggunakan Sheetpile

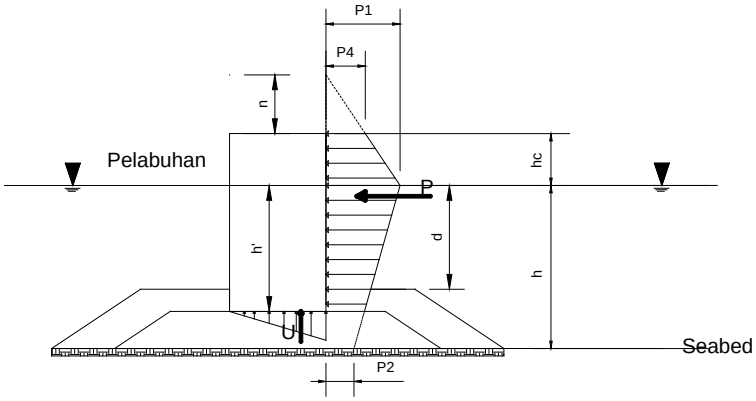
Dari beberapa jenis tersebut, kaison beton merupakan material yang paling umum di jumpai pada konstruksi bangunan pantai sisi tegak. Kaison beton pada pemecah gelombang lepas pantai adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton bertulang yang didalamnya diisi pasir atau batu. Pada pemecah gelombang sisi tegak kaison beton diletakkan diatas tumpukan batu yang berfungsi sebagai fondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada pondasi maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari batu atau blok beton.

Breakwater monolith ini dikenal dengan pemecah gelombang sisi tegak. Material-material yang digunakan dalam dinding tegak ini berupa tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton, kaison beton dan sebagainya. (Dapat dilihat pada **Gambar 2.10**)

Dari berbagai jenis tersebut, kaison merupakan material yang paling umum dijumpai. Kaison beton adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton bertulang yang didalamnya diisi pasir

atau batu. Pada pemecah gelombang jenis ini seringkali diletakkan diatas tumpukan batu yang berfungsi sebagai pondasi agar dapat menanggulangi gerusan pada pondasi.

Pada tugas akhir saya ini, material yang digunakan berupa tiang pancang baja yang disusun sedemikian hingga lalu dikaitkan menggunakan poer dan pelat beton antar poernya.Perhitungan struktur untuk breakwater sisi tegak ini sangat bermacam-macam tetapi pada tugas akhir ini digunakan perumusan Goda sebagai dasar perhitungan strukturnya. Perumusan Goda ini sangat fleksibel digunakan karena dapat digunakan pada berbagai kondisi gelombang. **Gambar 2.12** adalah distribusi tekanan gelombang yang diberikan Goda, yang berbentuk trapesium.




**Gambar 2.12.** Tekanan Gelombang Menggunakan Metode Goda

Beberapa notasi dalam gambar tersebut :

H : Kedalaman air di depan breakwater

d : Kedalaman di atas lapis pelindung

h’ : Jarak dari elevasi muka air rencana ke dasar breakwater

hc :Jarak antara elevasi muka air rencana dengan puncakbangunan

n : Elevasi maksimum dari distribusi tekanan gelombang terhadap muka air

P1 : Tekanan maksimum yang terjadi pada elevasi muka air rencana

P2 : Tekanan yang terjadi pada dasar tanah

P3 : Tekanan yang terjadi pada dasar dinding vertikal

Langkah-langkah perhitungan menggunakan metode Goda ini adalah sebagai berikut :

1) **Desain gelombang**

Menggunakan gelombang maksimum(Hmax) dan Periode gelombang maksimum(Tmax) dengan rumusan :

$Hmax = 1.8\ H_{1/3}$ (2.7)

$Tmax = T_{1/3}$ (2.8)

keterangan :

$H_{1/3}$ : Tinggi gelombang signifikan

$T_{1/3}$ : Periode gelombang signifikan

2) **Elevasi maksimum**

$n = 0.75\ (1+ \cos \beta)\ Hmax$ (2.9)

keterangan :

β: Sudut antara gelombang datang dengan garis tegak lurus breakwater

Karena ketidakpastian estimasi dari arah datangnya gelombang datang maka β harus dirotasi $15^0$ terhadap garis gelombang datang kearah normal breakwater.

3) **Tekanan gelombang di depan dinding**

$$P1 = \frac{1}{2}(1 + cos\beta)(\alpha_1 + \alpha_2 cos^2\beta)\gamma_w Hmax$$ (2.10)

$$P2 = \frac{P1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$
(2.11)

$$P3 = \alpha_3 \cdot P1$$
(2.12)

dimana :

$$\alpha 1 = 0.6 + \frac{1}{2}\left[\frac{4\pi h/_L}{\sinh\left(4\pi h/_L\right)}\right]^2$$
(2.13)

$$\alpha 2 = min\left[\frac{hb-d}{3\,hb}\left(\frac{Hmax}{d}\right)^2, \frac{2d}{Hmax}\right]$$
(2.14)

$$\alpha 3 = 1 - \frac{h\prime}{h}\left[1 - \frac{1}{\cosh\left(2\pi h/_L\right)}\right]$$
(2.15)

hb = Kedalaman di depan breakwater sejarak $5H_{1/3}$.

### 2.6.3 Breakwater Terapung (*Floating Breakwater)*

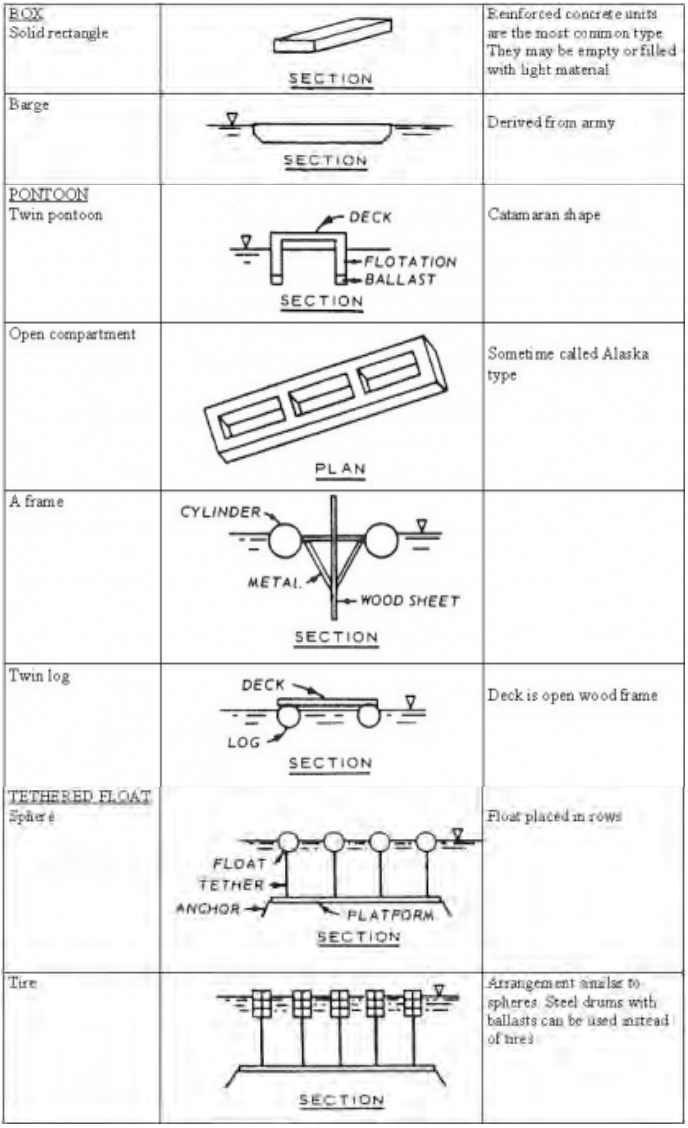
#### 2.6.3.1 Pengertian Breakwater Terapung (*Floating Breakwater)*

Penahan gelombang berfungsi untuk mengurangi *intensitas* dari hempasangelombang di perairan dekat pantai dimana bertujuan mengurangi *erosi* pantai. Pemecahgelombang dapat berupa tetap atau *floating*, penggunaan jenis pemecah gelombang tergantung pada kedalaman air normal, pasang surut, kondisi tanah dan *parameter* lainnya (McCartney, 1985).Konstruksi *floatingbreakwater* dikembangkan karena adanyaketerbatasan dari struktur *breakwater* yang tetap. Konstruksi *floatingbreakwater* biasanya dipasang sejajar atau tegak lurus pantai untuk menjaga kondisi yang tetap stabil di pelabuhan. Sebagian besar konstruksi *floatingbreakwater*tergantung pada pendekatan gelombang dan mempertimbangkan beberapa parameter lingkungan lainnya.

Hubungan *draft-lebar* adalah faktor yang paling penting yang menentukan kinerja *floatingbreakwater* (Fousert, 2006).

Jones (1971), mengungkapkan bahwa sebuah penahan gelombang yang ideal memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

1. Memiliki kinerja yang baik dalam mereduksi energi gelombang yang datang.
2. Mempunyai mobilitas yang tinggi.
3. instalasi yang cepat dan mudah serta *removal* yang tidak rumit
4. Struktur yang digunakan harus aman pada kondisi badai
5. Ekonomis




**Gambar 2.13.** Contoh jenis-jenis *Floating Breakwater*

### 2.6.3.2 Klasifikasi Breakwater Terapung (*Floating Breakwater)*

Berdasarkan PIANC (1994), *floating breakwater* dapat dibagi secara skematis menjadi dua:

1. *Reflective structures*, berfungsi merefleksikan gelombang yang terjadi, sehingga energi gelombang yang melewati *floating breakwater* menjadi kecil.
2. *Dissipative structure*, dimana besarnya energi gelombang yang terjadi dihancurkan dengan gesekan, turbulensi, dan lain-lain.

## 2.7 Struktur Breakwater : Tiang pancang

Type material untuk tiang pancang meliputi: Kayu, Beton Precast, Beton Prestress, Pipa baja bulat maupun kotak dengan atau tanpa sepatu tiang , baja pita yang dibentuk pipa, Profil baja bentuk I atau H dengan atau tanpa selimut beton, tiang ulir baja, dan sebagainya. Daya dukung tiang pada masing-masing kedalaman menggunakan perumusan yang ada misal dari Meyerhoff, Terzaghi, Luciano Decourt dan sebagainya sehingga dihasilkan grafik kurva daya dukung untuk beberapa ukuran dan type tiang.

Kontrol kekuatan internal bahan dilakukan dengan mengecek besarnya tegangan yang terjadi akibat beban luar harus lebih rendah dari tegangan ijin bahan, dan Momen yang terjadi harus lebih kecil dari kekuatan momen ultimate atau momen crack dari bahan. Tiang juga perlu dicek kekuatannya pada saat berdiri sendiri, khususnya terhadap frekuensi gelombang. Frekuensi tiang harus lebih besar dari frekuensi gelombang supaya tiang tidak bergoyang dan patah.

- Defleksi Maksimum

  Defleksi keseluruhan sisi bawah struktur atas dari hasil analisa struktur dengan defleksi bagian atas tiang pancang besarnya disyaratkan maksimum 4 mm. Untuk mendapatkan besarnya defleksi horizontal (Y) dari tiang vertikal (untuk fixed-headed pile) dapat menggunakan rumus :

$$Y = \frac{H(e + Zf)^3}{12EI}$$ .

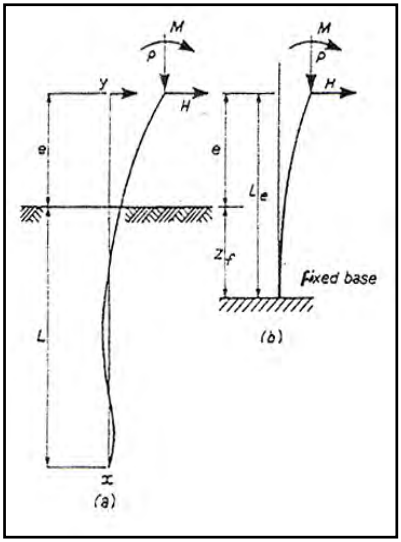
(2.16)

Dimana :

H =Lateral Load

e = Jarak lateral load dengan dengan muka tanah

Zf = posisi titik jepit tanah terhadap sebuah tiang pondasi (lihat **Gambar 2.14**)




**Gambar 2.14**. Posisi Titik Jepit Tiang Pancang
*(Sumber : Daya Dukung Pondasi Dalam)*

- Daya dukung tiang

Dari buku Daya Dukung Pondasi Dalam (*Wahyudi, 1999*), Daya dukung tiang pondasi dapat dihitung dengan rumus Luciano Decourt:

$$Q_L = Q_p + Q_s \tag{2.17}$$

$$Q_p = \alpha \times q_p \times A_p = \alpha \times (N_p x K) x A_p \tag{2.18}$$

$$Q_s = \beta \times q_s x A_s = \beta \times \left( \frac{N_s}{3} + 1 \right) x A_s \tag{2.19}$$

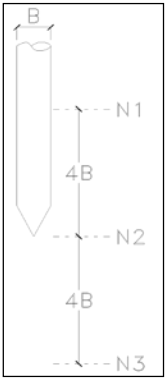
**Tabel 2.5** Koefisen α dan β untuk jenis-jenis tiang pancang

| | Bored pile | | Driven pile | | Injection pile | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | α | β | α | β | α | β |
| Clay | 0,85 | 0,85 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| Sand | 0,5 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 3 |

Dimana :
QL= Daya dukung tanah maksimum pada pondasi
QP= Resistance ultime di dasar pondasi
QS= Resistance ultime akibat lekatan lateral
qp = Tegangan diujung tiang
Ap = Luas penampang tiang dasar
B = Diameter pondasi
qs = Tegangan akibat lekatan lateral
Ns = Harga rata – rata SPT sepanjang tiang yang tertanam
As = Luas selimut tiang
$\overline{N}_P$ = Harga rata – rata SPT di sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi. (Lihat **Gambar 2.15**)

Catatan :Apabila tanah dalam kondisi terendam atau di bawah muka air tanah, maka harga Np tersebut harus dikoreksi sebagai :

$$N' = 15 + 0.5\,(N-15) \qquad (2.6.4)$$




**Gambar 2.15**. Letak dari Nilai-nilai N dalam Perhitungan$\overline{N}_p$

K = Koefisien karakteristik tanah yang mana :

- untuk lempung --➔ K = 12 t/m$^2$ = 117.7 kPa
- untuk lanau berlempung -➔K = 20 t/m$^2$ = 96 kPa
- untuk lanau berpasir --➔ K = 25 t/m$^2$ = 245 kPa
- untuk pasir --➔K = 40 t/m$^2$ = 392 kPa

Dengan menyamakan daya dukung tiang total dengan gaya maksimum yang bekerja pada satu tiang , maka akan didapat panjang tiang yang harus dipancang.

- Titik jepit tiang ( *point of fixity*)
  Posisi titik jepit tiang (**Gambar 2.15**) dari permukaan tanah (Zf) untuk *normally consolidated clay* dan *granular soil* adalah 1.8 T, di mana T adalah faktor kekakuan yang dihitung sebagai berikut

$$T = \sqrt[5]{EI / n_h} \quad \text{(dalam satuan panjang)} \qquad (2.20)$$

  dimana :
  $n_h$ = untuk cohesionless soil diperoleh dari Terzaghi,
  = untuk normally consolidated clays = 350 s/d 700 KN/m3 dan soft organic silts = 150 KN/m3.
  E = modulus elastisitas Young yang tergantung dari bahan tiang pancang
  I = momen inersia dari penampang tiang pancang

- Kontrol kekuatan bahan
  Kontrol kekuatan bahan dilakukan dengan mengecek besarnya momen yang terjadi pada tiang pancang harus lebih kecil dari pada momen Crack bahan. Momen pada tiang pancang didapatkan dari perhitungan SAP sedangkan momen crack bahan didapatkan dari spesifikasi bahan oleh pabrik:

$$M_{tp} < M_{crack} \qquad (2.21)$$

- Kontrol tiang pancang terhadap frekuensi gelombang
  Tiang pancang dicek kekuatannya pada saat berdiri sendiri, khususnya terhadap frekuensi gelombang ($\omega$). Frekuensi tiang ($\omega_t$) harus lebih besar dari frekuensi gelombang supaya tiang tidak bergoyang dan patah.
  Frekuensi tiang pancang dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\omega_t = 1{,}73\sqrt{\frac{El}{w.l^3/g}} \qquad (2.22)$$

Dimana :

w = berat tiang

l = tinggi tiang di atas tanah

g = gravitasi , 10 m/s$^2$

Kontrol Kekuatan tiang tunggal untuk tetap berdiri sendiri terhadap frekuensi gelombang.

- Perhitungan kalendering

  Perhitungan kalendering pada saat pemancangan tiang pancang berguna untuk mengetahui daya dukung dari tiang yang dipancang, dalam kata lain guna mengetahui kapan pemancangan dihentikan atau apakah kedalaman pemcanangan sudah memenuhi. Final set adalah nilai penetrasi tiang pancang tiap pukulan yang bisa diperoleh dari hasil kalendering. Final set digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dengan menggunakan HILLEY FORMULA yaitu :

$$Q_u = \frac{\alpha.W.H}{S+0.5C} \times \frac{W+n^2.W_p}{W+W_p} \qquad (2.23)$$

Dimana :

$Q_u$ = Daya dukung tiang (ton)

$\alpha$ = Efisiensi *hammer* yaitu :

= 2.5 untuk *hydraulic hammer*

= 1.0 untuk *dieselhammer* (Kobelco ➔$\alpha$ = 0.8)
= 0.75 untuk *drop hammer*

W = Berat hammer (K25 = 2.5 ton; K35 = 3.5 ton, dsb.)

$W_P$ = Berat tiang pancang (ton)

H = Tinggi jatuh *hammer* (1.9 m s/d 2 m untuk kondisinormal). Namun khusus untuk *diesel hammer*, nilai H dikalikan 2 (= 2 H)

n = Koefisien restitusi, dimana untuk :

- tiang kayu atau beton = 0.25
- tiang beton tanpa *cap* = 0.40
- tiang baja tanpa *cushion* = 0.55

S = final set atau penetrasi tiang pada pukulan terakhir (cm atau mm/blow).

Pengamatan biasanya dilakukan rata-rata di 3 set terakhir dengan 10 pukulan setiap setnya.

C = Total kompresi sementara (mm)
= $C_1 + C_2 + C_3$

$C_1$= Kompresi sementara dari *cushion* ( *pile head &cap*) yang mana menurut BSP adalah :

- *Hard cushion* = 3 mm
- *Hard cushion + packing, soft cushion* = 5 mm
- *Soft cushion + packing* = 7 mm

$C_2$ = Kompresi sementara dari tiang, yang dapat dihitung dengan perumusan berikut :

$$C_2 = \frac{Q_u \cdot L}{A_P \cdot E_{pile}} \qquad (2.24)$$

$C_3$ =Kompresi sementara dari tanah, di mana nilai nominal = 2.5 mm

Tanah keras (SPT ≥ 50) : 0 – 1 mm
Tanah sedang (SPT 20 – 30) : 2 – 3 mm
Tanah lunak (SPT 10 – 20) : 4 – 5 mm,

Adapun pemilihan tipe *hammer* harus didasarkan pada penetrasi per set selama pemancangan yaitu tidak kurang dari 5 mm (5 blows / 25 mm) dan *final set* kira-kira 2 mm (10 – 12 blows / 25 mm).

Apabila selama 3 menit mencapai 25 blows per 25 mm, maka *hammer* harus segera dihentikan.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

# BAB III
# PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

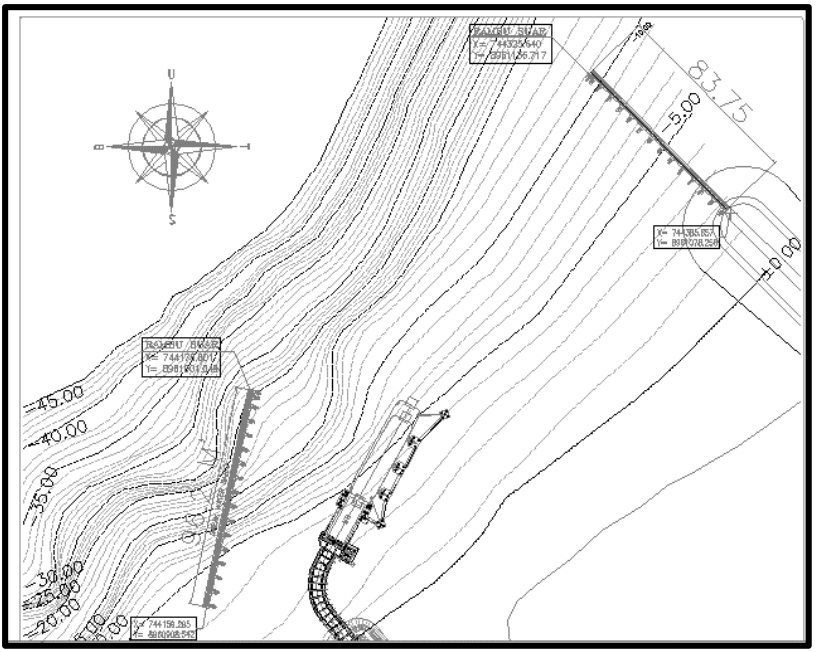
## 3.1. Umum

Lokasi breakwater ini berada di pantai utara pulau sumba tepatnya di Kabupaten Sumba Barat Daya , Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan memperhatikan letak geografisnya pada 9°40’00’’ LU dan 120°00’00’’ BT. Pada pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan evaluasi dan re-design terhadap breakwater yang sebelumnya telah runtuh akibat gelombang dan kecepatan angin yang tinggi.

Untuk itu perlu dilakukan pengumpulan dan analisa data sebelumnya, untuk mendukung pengevaluasian layout serta struktur breakwater tersebut. Data sekunder murupakan landasan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

## 3.2. Bathymetri

Peta bathymetri berikut seluas ± 9,3 Ha ( 321 meter ke arah timur dan 285 meter ke arah utara) didapat dari hasil survey ASDP Dirjen Departemen Perhubungan tahun 2008. Karakteristik dari tipe perairan di lokasi peninjauan ini adalah kontur dasar laut yang curam yang dimulai pada kedalaman lebih dari -5 m LWS, sedangkan dari titik tersebut menuju pantai memiliki kontur landai. Titik kedalaman pada perairan terluar ujung breakwater adalah -21 m LWS. Kondisi perairan di sekitar breakwater dapat dilihat pada **Gambar 3.1.**




(Sumber : ASDP Dirjen Departemen Perhubungan)

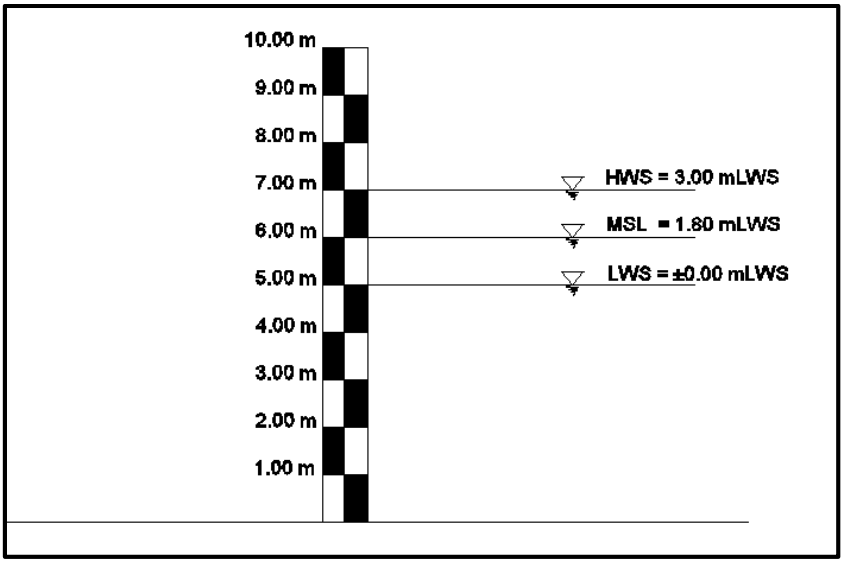
**Gambar 3.1.** Peta Bathymetri Pelabuhan Penyeberangan Waikelo, Kabupaten Sumba Barat, NTT.

## 3.3. Data Hydrooceanografi

### 3.3.1. Data Pasang Surut

Dalam memperoleh data pasang surut, dilakukan pada dua kondisi yaitu spring tide (kondisi dimana posisi matahari, bumi dan bulan dalam posisi segaris) dan neap tide ( kondisi dimana posisi matahari, bumi dan bulan dalam posisi tegak lurus).

Data pasang surut dapat dilihat pada Peil Schaal **Gambar 3.2.** bahwa beda pasang surut yang terjadi adalah Beda pasang surut yang terjadi di perairan Tanjung Bulu Pandan adalah 3 m.




(Sumber : ASDP Dirjen Departemen Perhubungan)
**Gambar 3.2.** Peil Schaal Beda Pasang Surut Perairan Dermaga Waikelo.

### 3.3.2. Data Angin

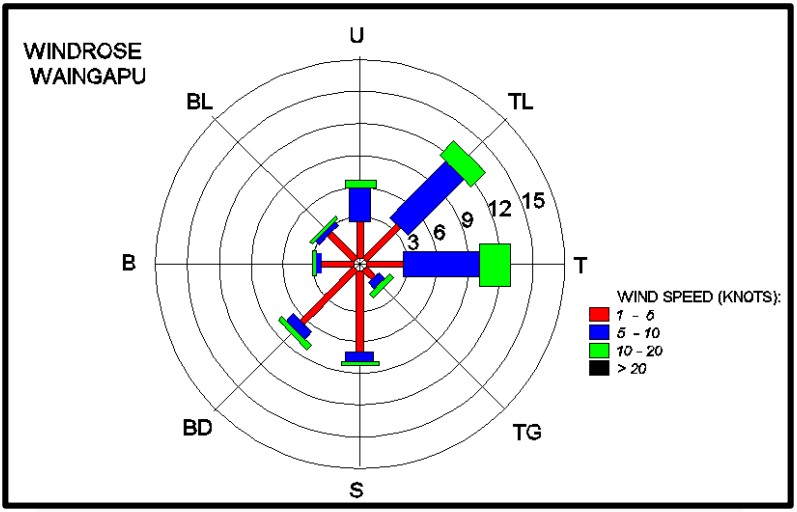
Data angin yang didapat merupakan data data kejadian angin pada tahun 1997-2006. Data tersebut dikumpulkan dari BMKG Stasiun Meteorologi Klas II El Tari Kupang. Data yang didapat merupakan hasil pencatatan pada lokasi terdekat dengan Waikelo yaitu di Waingapu, sehingga data tersebut dapat digunakan untuk analisis pengaruh angin secara langsung terhadap operasional pelabuhan dan kondisi gelombang pantai utara Sumba pada Pelabuhan Waikelo ini.

Hasil dari pencatatan kejadian angin selama 9 tahun terakhir menunjukan kondisi angin secara umum datang dari arah Timur Laut dengan kecepatan angin yang sering terjadi antara 5 – 10 knot terutama pada bulan September dan Oktober, namun kecepatan

terjadi juga hingga mencapai 20 knot namun dengan frekuensi yang sedang. **Tabel 3.1.** dan Windrose pada **Gambar 3.3.** menyajikan data angin yang terjadi.

**Tabel 3.1.** Total Kejadian angin di Waingapu (1997-2006)

| Kejadian Angin | | | | | | Prosentasi Kejadian Angin | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Arah Angin | Tinggi Angin (knot) | | | | Total | Arah Angin | Tinggi Angin (knot) | | | | Total |
| | 1 - 5 | 5 - 10 | 10 - 20 | > 20 | | | 1-5 | 5-10 | 10-20 | > 20 | |
| Utara | 462 | 616 | 152 | 0 | 1230 | Utara | 2,55 | 3,41 | 0,84 | 0 | 6,8 |
| Timur Laut | 700 | 1268 | 471 | 0 | 2439 | Timur Laut | 3,87 | 7,02 | 2,61 | 0 | 13,5 |
| Timur | 564 | 1257 | 559 | 0 | 2380 | Timur | 3,12 | 6,96 | 3,09 | 0 | 13,17 |
| Tenggara | 166 | 114 | 54 | 0 | 334 | Tenggara | 0,92 | 0,63 | 0,3 | 0 | 1,85 |
| Selatan | 1149 | 211 | 10 | 0 | 1370 | Selatan | 6,35 | 1,17 | 0,06 | 0 | 7,58 |
| Barat Daya | 1250 | 304 | 32 | 0 | 1586 | Barat Daya | 6,92 | 1,68 | 0,18 | 0 | 8,78 |
| Barat | 145 | 91 | 34 | 0 | 270 | Barat | 0,8 | 0,5 | 0,19 | 0 | 1,49 |
| Barat Laut | 86 | 64 | 22 | 0 | 172 | Barat Laut | 0,48 | 0,35 | 0,12 | 0 | 0,95 |
| Jumlah hari berangin | | | | | 9781 | Jumlah hari berangin | | | | | 54,12 |
| Jumlah hari tak berangin | | | | | 8275 | Jumlah hari tak berangin | | | | | 45,81 |
| Jumlah hari tak tercatat | | | | | 13 | Jumlah hari tak tercatat | | | | | 0,07 |
| Jumlah hari kejadian total | | | | | 18069 | Jumlah hari kejadian total | | | | | 100 |




**Gambar 3.3.** Wind Rose Perairan Laut Utara Pulau Sumba.

Perlu diketahui bahwa data di atas merupakan data yang bersumber dari peninjauan langsung tim konstruksi breakwater sebelumnya. Dari hasil data angin tersebut dapat dilihat bahwa angin dominan berasal dari timur laut, hal tersebut diduga karena data angin tersebut merupakan kejadian angin di Waingapu.

Penulis kemudian melakukan tinjauan ulang dengan data baru yaitu berasal dari BMKG pada **Gambar 3.4** yang dimana dapat dilihat bahwa angin dominan yang terjadi pada perairan Waikelo adalah berasal dari arah barat laut.

INFORMASI CUACA PERAIRAN
WILAYAH SEKITAR SUMBA - NUSA TENGGARA TIMUR
TANGGAL 10 - 19 MARET 2012

| Tanggal | Wilayah Perairan | Cuaca | Angin | | Tinggi Gel. Laut Siginifikan (m) | Tinggi Gel. Laut Maksimum (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Dari | Kec. (knot) | | |
| 10 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Sedang | Barat Laut-Timur Laut | 05-10 | 0.75-1.25 | 0.75-1.25 |
| | Selat Sumba | Hujan Ringan | Barat Laut-Utara | 05-15 | 1.5-2.0 | 2.0-3.0 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Lebat | Barat Laut | 05-15 | 1.25-1.5 | 1.5-2.5 |
| 11 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 05-10 | 0.75-1.25 | 0.75-1.25 |
| | Selat Sumba | Hujan Ringan | Barat Laut | 05-15 | 1.5-2.0 | 2.0-2.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Ringan | Barat Laut | 05-15 | 1.25-1.5 | 1.5-2.5 |
| 12 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 05-10 | 0.5-0.75 | 0.75-1.25 |
| | Selat Sumba | Berawan | Barat Laut-Utara | 05-10 | 0.5-0.75 | 0.75-1.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut-Utara | 10-15 | 1.25-1.5 | 2.0-2.5 |
| 13 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Ringan | Barat Daya-Barat Laut | 05-10 | 0.75-1.25 | 1.25-2.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Ringan | Barat Daya-Barat Laut | 05-10 | 0.5-0.75 | 0.75-1.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 05-10 | 0.75-1.5 | 2.0-3.0 |
| 14 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Ringan | Barat-Barat Laut | 15-25 | 1.5-2.5 | 3.0-4.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Ringan | Barat-Barat Laut | 15-20 | 1.5-2.5 | 2.5-3.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 15-25 | 2.5-3.5 | 3.5-5.0 |
| 15 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 20-34 | 2.5-4.0 | 4.0-6.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 20-34 | 2.0-3.5 | 4.0-7.0 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 20-34 | 2.5-4.0 | 5.0-7.0 |
| 16 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Sedang | Barat Laut | 20-34 | 2.5-3.5 | 4.0-6.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 20-34 | 3.0-3.5 | 4.0-7.0 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 20-34 | 3.5-5.0 | 5.0-7.0 |
| 17 Maret 2012 | Laut Sawu | Berawan | Barat Laut-Utara | 15-25 | 2.5-3.5 | 4.0-6.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 15-25 | 3.0-3.5 | 4.0-7.0 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 20-34 | 3.5-5.0 | 5.0-7.0 |
| 18 Maret 2012 | Laut Sawu | Berawan | Barat Laut-Utara | 10-20 | 1.5-3.0 | 3.0-5.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut | 10-20 | 1.25-2.5 | 2.5-3.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat Laut-Utara | 15-25 | 2.5-3.5 | 4.0-6.0 |
| 19 Maret 2012 | Laut Sawu | Hujan Ringan | Barat | 10-20 | 1.5-2.0 | 2.5-4.0 |
| | Selat Sumba | Hujan Ringan | Barat | 10-20 | 0.75-1.5 | 1.5-2.5 |
| | Perairan Selatan Sumba | Hujan Sedang | Barat-Barat Laut | 15-25 | 2.0-2.5 | 2.5-4.0 |

(*Sumber: : BMKG Stasiun Meteorologi Klas II El Tari Kupang*)

**Gambar 3.4.** Data Valid Kejadian Angin Perairan Waikelo

Setelah mendapatkan hasil tinjuan kondisi angin yang sebenarnya pada data di atas, data tersebut yang nantinya akan menjadi dasar perencanaan desain layout breakwater yang didapat dari hasil bangkitan gelombang.

### 3.3.3. Analisa Gelombang

#### 3.3.3.1 Panjang Fetch

Data gelombang didapat dari lokasi proyek dengan menganalisa data angin yang terjadi pada tahun 1997 – 2006 oleh BMKG Stasiun Meteorologi Klas II El Tari Kupang. Data yang tertera merupakan kecepatan dan arah orientasi angin.

Dengan data angin yang terjadi dari tahun 1997 – 2006 kemudian dilakukan analisa bangkitan data angin dengan melihat orientasi arah angin yang menuju ke pantai. Hasil olahan dan tentunya lokasi perencanaan yang berada di pantai utara Pulau Sumba menunjukkan bahwa gelombang yang berpengaruh ke pantai tersebut adalah dari arah barat laut, utara dan timur laut. Berikut merupakan hasil prediksi tinggi gelombang yang di dapat dari BMKG Stasiun Meteorologi Klas II EL Tari Kupang.

**Tabel 3.2**. Tabel Data Kecepatan Angin (Knot) 1997-2006

| Tahun | Uraian | Jan | Feb | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Ags | Sep | Okt | Nop | Des |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Utara | Kec. Angin Signifikan | 13.63 | 11.35 | 11.14 | 10.94 | 9.62 | 11.39 | 12.14 | 14.17 | 9.60 | 10.69 | 11.63 | 12.68 |
| | Kec.Max | 22.76 | 18.95 | 18.60 | 18.27 | 16.06 | 19.02 | 20.28 | 23.66 | 16.03 | 17.86 | 19.43 | 21.17 |
| Timur Laut | Kec. Angin Signifikan | 9.67 | 9.88 | 10.00 | 12.05 | 11.74 | 12.64 | 14.66 | 15.05 | 16.79 | 14.11 | 13.34 | 12.55 |
| | Kec.Max | 16.16 | 16.50 | 16.70 | 20.12 | 19.61 | 21.11 | 24.48 | 25.13 | 28.03 | 23.57 | 22.28 | 20.96 |
| Barat Laut | Kec. Angin Signifikan | 12.03 | 12.62 | 14.58 | 10.00 | 5.00 | 10.00 | 11.67 | 6.67 | 6.25 | 13.33 | 7.50 | 11.00 |
| | Kec.Max | 20.09 | 21.07 | 24.35 | 16.70 | 8.35 | 16.70 | 19.48 | 11.13 | 10.44 | 22.27 | 12.53 | 18.37 |

Untuk mendapatkan besarnya fetch efektif daat dilakukan dengan menggunakan langkah-langkah berukut.

1. Menggunakan pertambahan sudut peninjauan Fetch $6^0$ sampai sudut sebesar $42^0$ pada kedua sisi dari arah angin.
2. Besarnya cos α baik dari arah kanan dan kiri jalur fetch.
   - Cos 42 = 0.790
   - Cos 36 = 0.844
   - Cos 30 = 0.891
   - Cos 24 = 0.929
   - Cos 18 = 0.960
   - Cos 12 = 0.982
   - Cos 6 = 0.995
   - Cos 0 = 1.000

     Setelah itu dijumlahkan semua cos α

     $\sum \cos \alpha = 13.782$
3. Pengukuran panjang ini dilakukan pada ketiga arah yang paling berpengaruh.
   - Pada sudut $42^0$ ke arah kanan diukur dalam tiga arah yaitu :

     Barat Laut (BL) = 2.85 Km

     Utara (U) = 86.45 Km

     Timur Laut (TL) = 101.70Km
   - Selanjutnya diukur berdasarkan sudut lainnya baik ke arah kanan dan kiri dalam tiga arah yang ditinjau.

4. Panjang segmen fetch yang diukur dikalikan kolom kedua berupa nilai dari cos α.
   - Pada sudut $42^0$ :

     Barat Laut (BL) = 2.85 x 0.790

     = 2.252 Km

     Utara (U) = 86.45 x 0.790

     = 68.296 Km

Timur Laut (TL) = 101.7 x 0.790
= 80.343 Km

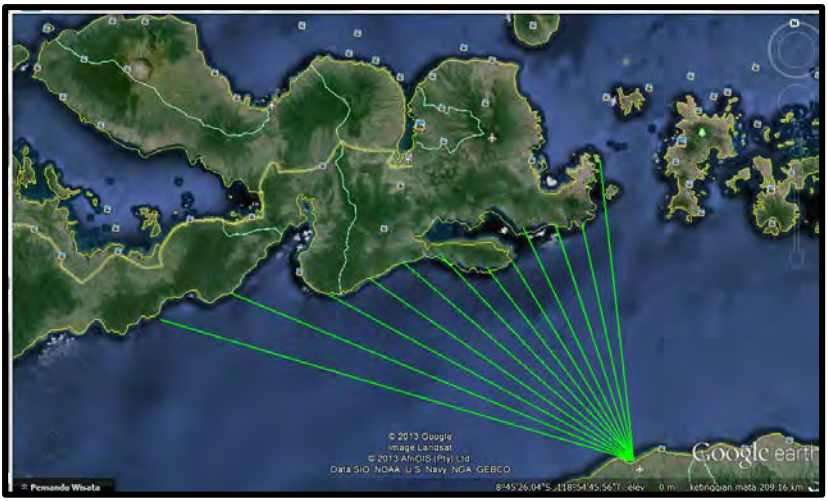
- Setelah dihitung semuanya lalu dijumlahkan dalam tiap arah yang berpengaruh.

Barat Laut (BL) = $\sum$ xi cos α
= 1036.978 Km
Utara (U) = $\sum$ xi cos α
= 964.004 Km
Timur Laut (TL) = $\sum$ xi cos α
= 732.975 Km

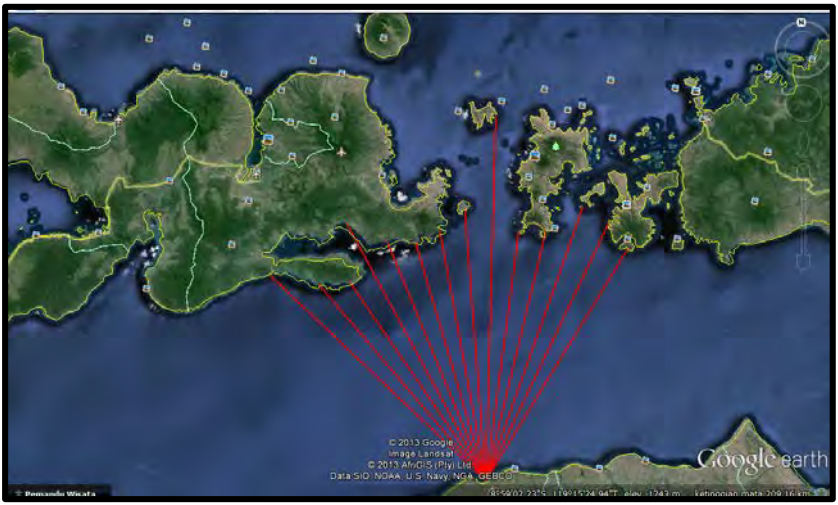
- Apabila sudah dihitung total dari $\sum$ xi cos α dari setiap arah (BL, U, TL) lalu dihitung panjang fetch efektifnya.

Fetch efektif BL $= \frac{1036.978}{13.782}$
= 75.244 Km
Fetch efektif U $= \frac{964.004}{13.782}$
= 69.949 Km
Fetch efektif TL $= \frac{732.975}{13.782}$
= 53.185 Km

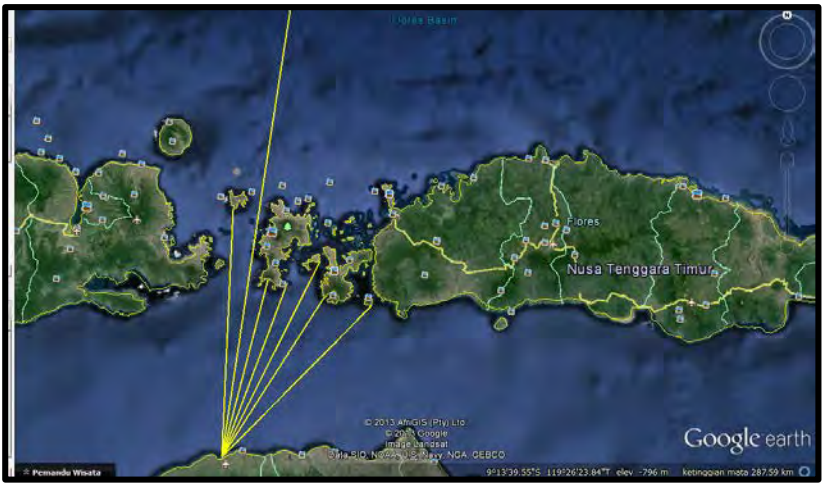
Berikut merupakan tampilan panjang fetch afektif dari tiga arah dominan yaitu barat laut (**Gambar 3.5.**), Utara (**Gambar 3.6.**), dan Timur Laut (**Gambar 3.7.**)




**Gambar 3.5.** Fetch Efektif arah Barat Laut




**Gambar 3.6.** Fetch Efektif arah Utara




**Gambar 3.7.** Fetch Efektif arah Timur Laut

**Tabel 3.3.** Perhitungan Panjang Fetch Efektif

| | sudut (α) | cos α | Xi (km) | | | Xi Cos α (km) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | BL | U | TL | BL | U | TL |
| KIRI | 42 | 0,790 | 2,850 | 86,450 | **101,700** | 2,252 | 68,296 | 80,343 |
| | 36 | 0,844 | 3,140 | 74,750 | 414,790 | 2,650 | 63,089 | 350,083 |
| | 30 | 0,891 | 3,740 | 69,570 | 75,520 | 3,332 | 61,987 | 67,288 |
| | 24 | 0,929 | 146,210 | **84,660** | **76,840** | 135,829 | 78,649 | 71,384 |
| | 18 | 0,960 | 128,900 | **75,030** | **90,320** | 123,744 | 72,029 | 86,707 |
| | 12 | 0,982 | 101,830 | **71,760** | 78,310 | 99,997 | 70,468 | 76,900 |
| | 6 | 0,995 | 94,650 | **73,380** | 0,270 | 94,177 | 73,013 | 0,269 |
| | 0 | 1,000 | 89,480 | **78,200** | 0,000 | 89,480 | 78,200 | 0,000 |
| KANAN | 6 | 0,995 | 83,810 | 105,000 | 0,000 | 83,349 | 104,423 | 0,000 |
| | 12 | 0,982 | 71,630 | 72,400 | 0,000 | 70,341 | 71,097 | 0,000 |
| | 18 | 0,960 | **68,480** | **73,860** | 0,000 | 65,741 | 70,906 | 0,000 |
| | 24 | 0,929 | **75,890** | **84,120** | 0,000 | 70,502 | 78,147 | 0,000 |
| | 30 | 0,891 | **73,200** | **82,220** | 0,000 | 65,221 | 73,258 | 0,000 |
| | 36 | 0,844 | **71,360** | 0,300 | 0,000 | 60,228 | 0,253 | 0,000 |
| | 42 | 0,790 | **88,780** | 0,240 | 0,000 | 70,136 | 0,190 | 0,000 |
| | Total | 13,782 | | | | 1036,978 | 964,004 | 732,975 |
| | **FETCH EFEKTIF (KM)** | | | | | 75,244 | 69,949 | 53,185 |

### 3.3.3.2. Tinggi dan Periode Gelombang pada Laut Dalam

**Tabel 3.3.** diatas menunjukan hasil perhitungan panjang fetch efektif yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan tinggi dan periode gelombang yang terjadi di lau dalam. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan metode Sverdrup Munk Bretschneider (SMB) yang telah dimodifikasi dengan Shore Protection Manual (SPM, 1984)

Dalam perhitungan tinggi dan periode gelombang laut dalam pada rekap data angin Tabel 3.2. diperlukan tambahan faktor koreksi terhadap kecepatan angin yang ada. Faktor koreksi yang digunakan adalah faktor koreksi yang disebabkan oleh perbedaan suhu ($R_T$) dimana di daerah perairan Waikelo ini digunakan faktor koreksi sebesar 1 akibat kondisi perairan di Indonesia yang relatif sama antara suhu di udara dan laut terkhususnya daerah sumba yang dikategorikan beriklim kering. Selanjutnya faktor koreksi yang disebabkan oleh adanya perbedaan lokasi antara pencatatan angin di darat dan di laut ($R_L$) yang dapat ditentukan melalui grafik factor koreksi perbedaan lokasi dengan kecepatan angin di darat dan di laut.

Contoh Perhitungan:

Data Angin bulan Januari (1997-2006) dengan orientasi angin Utara memiliki Fetch Efektif = 69,949 km.

Dihitung Kecepatan angin dilaut dengan grafik Hubungan antara Kecepatan angin di laut dan di darat.

$\boldsymbol{U_L}$ (Kecepatan angin dari Utara di darat) = 11,71 m/s didapat :

$\boldsymbol{R_L} = \frac{U_W}{U_L}$ = 1,02…(Grafik Gambar 2.5)

Kecepatan angin di laut **:** $U_w = R_T . RL . U_L$

= 1 x 1,02 x 11,71 m/s

= 11,9 m/s

Faktor Tegangan angin dihitung dengan rumus berikut :

$U_A = 0,71\ U_W^{,23} = 0,71\ (11,9)^{1,23} = 14,94$ m/s

Dengan menggunakan Grafik Peramalan Gelombang untuk nilai $U_A$ = 14,94 m/s dan fetch = 69,949 km di dapat dengan rumus :

$H_{m0}$ = $1{,}616x10^{-2}$ x UA x $(F^{1/2})$ **= 2,02 m**

$t$ = $8.93x10^{-1} \times \left(\frac{F^2}{UA}\right)^{\frac{1}{3}}$ = **6,16 jam**

**Tabel 3.4.** Prediksi Tinggi Gelombang dengan metode SMB berdasarkan Panjang Fetch Efectif

| Arah | Bulan | Kec.Max | | $R_T$ | $R_L$ | Uw | $U_A$ | Fetch | $gt/U_A$ | Keterangan | $H_{m0}$ | t |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (knot) | (m/s) | | | | | | | | (m) | (jam) |
| Barat Laut | Jan | 20.09 | 10.34 | 1 | 1.05 | 10.87 | 13.36 | 75.24 | 177.06 | NFDS | 1.87 | 6.71 |
| | Feb | 21.07 | 10.84 | 1 | 1.04 | 11.23 | 13.91 | 75.24 | 167.80 | NFDS | 1.95 | 6.62 |
| | Mar | 24.35 | 12.53 | 1 | 1.01 | 12.61 | 16.03 | 75.24 | 138.89 | NFDS | 2.25 | 6.31 |
| | Apr | 16.70 | 8.59 | 1 | 1.13 | 9.70 | 11.62 | 75.24 | 213.39 | NFDS | 1.63 | 7.03 |
| | Mei | 8.35 | 4.30 | 1 | 1.48 | 6.34 | 6.88 | 75.24 | 428.79 | NFDS | 0.97 | 8.37 |
| | Jun | 16.70 | 8.59 | 1 | 1.13 | 9.70 | 11.62 | 75.24 | 213.39 | NFDS | 1.63 | 7.03 |
| | Jul | 19.48 | 10.02 | 1 | 1.06 | 10.66 | 13.04 | 75.24 | 183.01 | NFDS | 1.83 | 6.76 |
| | Ags | 11.13 | 5.73 | 1 | 1.34 | 7.65 | 8.67 | 75.24 | 315.06 | NFDS | 1.22 | 7.75 |
| | Sep | 10.44 | 5.37 | 1 | 1.37 | 7.35 | 8.25 | 75.24 | 336.61 | NFDS | 1.16 | 7.88 |
| | Okt | 22.27 | 11.45 | 1 | 1.02 | 11.70 | 14.63 | 75.24 | 156.99 | NFDS | 2.05 | 6.51 |
| | Nop | 12.53 | 6.44 | 1 | 1.28 | 8.22 | 9.47 | 75.24 | 280.35 | NFDS | 1.33 | 7.52 |
| | Des | 18.37 | 9.45 | 1 | 1.09 | 10.27 | 12.46 | 75.24 | 194.43 | NFDS | 1.75 | 6.87 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Utara | Jan | 22.76 | 11.71 | 1 | 1.02 | 11.90 | 14.94 | 69.95 | 145.36 | NFDS | 2.02 | 6.16 |
| | Feb | 18.95 | 9.75 | 1 | 1.07 | 10.47 | 12.76 | 69.95 | 179.46 | NFDS | 1.72 | 6.49 |
| | Mar | 18.60 | 9.57 | 1 | 1.08 | 10.35 | 12.58 | 69.95 | 182.91 | NFDS | 1.70 | 6.52 |
| | Apr | 18.27 | 9.40 | 1 | 1.09 | 10.23 | 12.41 | 69.95 | 186.26 | NFDS | 1.68 | 6.55 |
| | Mei | 16.06 | 8.26 | 1 | 1.15 | 9.49 | 11.30 | 69.95 | 210.97 | NFDS | 1.53 | 6.76 |
| | Jun | 19.02 | 9.78 | 1 | 1.07 | 10.49 | 12.79 | 69.95 | 178.76 | NFDS | 1.73 | 6.48 |
| | Jul | 20.28 | 10.43 | 1 | 1.05 | 10.94 | 13.47 | 69.95 | 166.95 | NFDS | 1.82 | 6.37 |
| | Ags | 23.66 | 12.17 | 1 | 1.01 | 12.29 | 15.54 | 69.95 | 137.95 | NFDS | 2.10 | 6.08 |
| | Sep | 16.03 | 8.25 | 1 | 1.15 | 9.48 | 11.29 | 69.95 | 211.29 | NFDS | 1.53 | 6.76 |
| | Okt | 17.86 | 9.19 | 1 | 1.10 | 10.10 | 12.20 | 69.95 | 190.46 | NFDS | 1.65 | 6.59 |
| | Nop | 19.43 | 9.99 | 1 | 1.06 | 10.64 | 13.01 | 69.95 | 174.86 | NFDS | 1.76 | 6.45 |
| | Des | 21.17 | 10.89 | 1 | 1.03 | 11.27 | 13.97 | 69.95 | 158.96 | NFDS | 1.89 | 6.29 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Timur Laut | Jan | 16.16 | 8.31 | 1 | 1.15 | 9.52 | 11.35 | 53.19 | 174.75 | NFDS | 1.34 | 5.62 |
| | Feb | 16.50 | 8.49 | 1 | 1.14 | 9.64 | 11.52 | 53.19 | 171.27 | NFDS | 1.36 | 5.59 |
| | Mar | 16.70 | 8.59 | 1 | 1.13 | 9.70 | 11.62 | 53.19 | 169.32 | NFDS | 1.37 | 5.58 |
| | Apr | 20.12 | 10.35 | 1 | 1.05 | 10.88 | 13.38 | 53.19 | 140.31 | NFDS | 1.58 | 5.32 |
| | Mei | 19.61 | 10.09 | 1 | 1.06 | 10.70 | 13.10 | 53.19 | 144.22 | NFDS | 1.54 | 5.36 |
| | Jun | 21.11 | 10.86 | 1 | 1.04 | 11.25 | 13.93 | 53.19 | 132.91 | NFDS | 1.64 | 5.25 |
| | Jul | 24.48 | 12.60 | 1 | 1.01 | 12.67 | 16.13 | 53.19 | 109.34 | NFDS | 1.90 | 5.00 |
| | Ags | 25.13 | 12.93 | 1 | 1.00 | 12.98 | 16.62 | 53.19 | 105.03 | NFDS | 1.96 | 4.95 |
| | Sep | 28.03 | 14.42 | 1 | 1.01 | 14.61 | 19.22 | 53.19 | 86.52 | NFDS | 2.27 | 4.71 |
| | Okt | 23.57 | 12.12 | 1 | 1.01 | 12.25 | 15.47 | 53.19 | 115.55 | NFDS | 1.82 | 5.07 |
| | Nop | 22.28 | 11.46 | 1 | 1.02 | 11.71 | 14.63 | 53.19 | 124.48 | NFDS | 1.72 | 5.16 |
| | Des | 20.96 | 10.78 | 1 | 1.04 | 11.19 | 13.85 | 53.19 | 133.99 | NFDS | 1.63 | 5.26 |

Berdasarkan **Tabel 3.4.** yang dirangkum, didapatkan bahwa dalam jangka waktu lima tahun dari tahun 1997 – 2006 didapat tinggi gelombang maksimum per-orientaasi arah angin dengan perhitungan menggunakan metode SMB dalam **Tabel 3.5.**

**Tabel 3.5.** Tinggi gelombang maximum per orientasi arah angin yang berpengaruh dalam jangka waktu lima tahun (1997-2006) yang didapat dari perhitungan metode SMB.

| Arah | Hmax (m) | Bulan | t (jam) |
|---|---|---|---|
| Barat Laut | 2,25 | Maret | 6,31 |
| Utara | 2,10 | Agustus | 6,08 |
| Timur Laut | 2,27 | September | 4,71 |

Tabel diatas menunjukan bahwa tinggi gelombang maximum yang berorientasi ke timur laut terjadi pada bulan maret dengan ketinggian gelombang sebesar 2,27 meter dengan lama berhembusnya angin sebesar 4,71 jam. Hasil tersebut didapatkan dari faktor tegangan kecepatan angin sebesar 14,42 m/s. Dapat dikatakan bahwa pada lokasi tersebut angin dengan kecepatan 14,42 m/s berhembus selama 4,71 jam dan gelombang laut dalam yang terjadi sebesar 2,27 meter.

### 3.3.3.3 Tinggi Gelombang Rencana

Salah satu kriteria dalam perencanaan breakwater adalah penentuan umur rencana breakwater itu sendiri yang mendasari penentuan tinggi gelombang rencana. Selama breakwater ini difungsikan pada suatu pelabuhan, kita tidak tahu kemungkinan gelombang maksimum yang terjadi selama periode umur rencana breakwater ini, sehingga penentuan tinggi gelombang rencana ini

berfungsi untuk prakiraan tinggi gelombang yang akan terjadi nantinya dimana umur rencana dibuat dalam beberapa alternatif untuk memperoleh hasil yang optimum.

Penentuan perilaku gelombang maksimum yang pernah terjadi serta interval kejadiannya merupakan dasar analisa selanjutnya. Analisa tersebut digunakan untuk menentukan tinggi gelombang yang berpengaruh pada breakwater selama umur rencana yang telah ditetapkan yaitu untuk breakwater dermaga waikelo ini direncanakan memiliki umur rencana 50 tahun. Perhitungan tinggi gelombang rencana ini menggunakan analisis statistic atau sering disebut dengan metode weibull berdasarkan frekuensi kejadian angin bertiup. Perhitungan metode ini dapat dilihat pada **Tabel 3.6** sampai **Tabel 3.11** dengan meninjau dari ketiga arah (barat laut, utara, dan timur laut). Setelah didapatkan tinggi gelombang rencana berdasarkan umur tertentu maka dibuat grafiknya, dapat dilihat pada **Gambar 3.8.** Berikut contoh perhitungan pada **Tabel 3.6**

- Parameter bentuk untuk Weibul(K) :
  - m : 12
  - $N_T$ : 12
  - K : 1

- Nilai A dan B :

$$A = \frac{n \cdot \sum Hsm.ym - \sum Hsm \cdot Ym}{n \cdot Ym^2 - Ym^2}$$

$$A = \frac{12 \cdot 15{,}986 - 21{,}12 \cdot 8{,}407}{12 \cdot 10{,}370 - (8{,}407)^2} = 0{,}266$$

$H_{msm} = \sum Hsm = \frac{21{,}12}{12} = 1{,}76$

$y_{mm} = \sum y_m = \frac{8{,}407}{12} = 0{,}7006$

$B = 1{,}76 - 0.266 \cdot 0{,}7 = 1{,}573$

$$\sigma_{Hs} = \left[\frac{1}{12-1}\sum_{1}^{12}(Hsm - Hmsm)^2\right]^{1/2} = 0.04$$

Dari kedua tabel tersebut didapatkan tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang 50 tahunan sebesar 2,34 meter dan harga T (periode) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T_p = 0.506\sqrt{H_0{}'} = 0.506\sqrt{234} = 7{,}75\ dt$$

Keterangan : $H_0$' = 2,75 m = 275

**Tabel 3.6.** Perhitungan Periode Ulang Arah Barat Laut Dengan Menggunakan Metode Weibull.

| m | Hsm | Fm | ym | Hsm.ym | ym² | (Hsm-ΣHsm)² | Ĥsm | Hsm-Ĥsm | (Hsm-Ĥsm)² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,2475 | 0,954 | 2,199 | 4,943 | 4,837 | 0,375 | 2,463 | -0,216 | 0,046 |
| 2 | 2,0503 | 0,874 | 1,477 | 3,028 | 2,181 | 0,173 | 2,064 | -0,014 | 0,000 |
| 3 | 1,9504 | 0,793 | 1,125 | 2,195 | 1,266 | 0,100 | 1,870 | 0,081 | 0,007 |
| 4 | 1,8734 | 0,713 | 0,891 | 1,669 | 0,793 | 0,057 | 1,740 | 0,134 | 0,018 |
| 5 | 1,8275 | 0,632 | 0,714 | 1,305 | 0,510 | 0,037 | 1,642 | 0,185 | 0,034 |
| 6 | 1,7464 | 0,552 | 0,573 | 1,001 | 0,328 | 0,012 | 1,564 | 0,182 | 0,033 |
| 7 | 1,6287 | 0,471 | 0,455 | 0,741 | 0,207 | 0,000 | 1,499 | 0,130 | 0,017 |
| 8 | 1,6287 | 0,391 | 0,354 | 0,576 | 0,125 | 0,000 | 1,443 | 0,185 | 0,034 |
| 9 | 1,3272 | 0,310 | 0,265 | 0,352 | 0,070 | 0,095 | 1,394 | -0,067 | 0,005 |
| 10 | 1,216 | 0,230 | 0,187 | 0,227 | 0,035 | 0,175 | 1,351 | -0,135 | 0,018 |
| 11 | 1,1571 | 0,149 | 0,116 | 0,134 | 0,013 | 0,228 | 1,312 | -0,154 | 0,024 |
| 12 | 0,965 | 0,069 | 0,051 | 0,049 | 0,003 | 0,449 | 1,276 | -0,311 | 0,097 |
| Jumlah | 19,618 | 6,137 | 8,407 | 16,220 | 10,370 | 1,701 | | | 0,333 |

**Tabel 3.7.** Tinggi Gelombang Barat Laut berdasarkan Periode Ulang Dengan Menggunakan Metode Weibull.

| Periode ulang (Tahun) | $y_r$ (Tahun) | $H_{sr}$ (m) | $\sigma_{nr}$ | $\sigma_r$ | $H_s$-1.28$\sigma_r$ (m) | $H_s$+1.28$\sigma_r$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,405 | 2,024 | 0,595 | 0,103 | 1,89 | 2,16 |
| 10 | 1,814 | 2,250 | 0,787 | 0,137 | 2,08 | 2,43 |
| 20 | 2,190 | 2,458 | 0,971 | 0,169 | 2,24 | 2,67 |
| 50 | 2,649 | 2,712 | 1,200 | 0,209 | 2,44 | 2,98 |
| 100 | 2,977 | 2,893 | 1,365 | 0,237 | 2,59 | 3,20 |

**Tabel 3.8.** Perhitungan Periode Ulang Arah Utara Dengan Menggunakan Metode Weibull.

| m | $H_{sm}$ | $F_m$ | $y_m$ | $H_{sm}.y_m$ | $y_m^2$ | $(H_{sm}-\Sigma H_{sm})^2$ | $\hat{H}_{sm}$ | $H_{sm}-\hat{H}_{sm}$ | $(H_{sm}-\hat{H}_{sm})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,1001 | 0,954 | 2,199 | 4,619 | 4,837 | 0,116 | 2,159 | -0,059 | 0,003 |
| 2 | 2,0192 | 0,874 | 1,477 | 2,982 | 2,181 | 0,067 | 1,966 | 0,053 | 0,003 |
| 3 | 1,8882 | 0,793 | 1,125 | 2,125 | 1,266 | 0,017 | 1,873 | 0,016 | 0,000 |
| 4 | 1,8201 | 0,713 | 0,891 | 1,621 | 0,793 | 0,004 | 1,810 | 0,010 | 0,000 |
| 5 | 1,758 | 0,632 | 0,714 | 1,256 | 0,510 | 0,000 | 1,763 | -0,005 | 0,000 |
| 6 | 1,7291 | 0,552 | 0,573 | 0,991 | 0,328 | 0,001 | 1,726 | 0,003 | 0,000 |
| 7 | 1,7241 | 0,471 | 0,455 | 0,785 | 0,207 | 0,001 | 1,694 | 0,030 | 0,001 |
| 8 | 1,6996 | 0,391 | 0,354 | 0,602 | 0,125 | 0,004 | 1,667 | 0,032 | 0,001 |
| 9 | 1,6767 | 0,310 | 0,265 | 0,445 | 0,070 | 0,007 | 1,644 | 0,033 | 0,001 |
| 10 | 1,6488 | 0,230 | 0,187 | 0,308 | 0,035 | 0,012 | 1,623 | 0,026 | 0,001 |
| 11 | 1,5271 | 0,149 | 0,116 | 0,176 | 0,013 | 0,054 | 1,604 | -0,077 | 0,006 |
| 12 | 1,5254 | 0,069 | 0,051 | 0,078 | 0,003 | 0,055 | 1,587 | -0,061 | 0,004 |
| Jumlah | 21,116 | 6,137 | 8,407 | 15,986 | 10,370 | 0,337 | | | 0,020 |

**Tabel 3.9.** Tinggi Gelombang Utara berdasarkan Periode Ulang Dengan Menggunakan Metode Weibull.

| Periode ulang (Tahun) | $y_r$ (Tahun) | $H_{sr}$ (m) | $\sigma_{nr}$ | $\sigma_r$ | $H_s$-1.28$\sigma_r$ (m) | $H_s$+1.28$\sigma_r$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,405 | 1,947 | 0,595 | 0,025 | 1,91 | 1,98 |
| 10 | 1,814 | 2,056 | 0,787 | 0,034 | 2,01 | 2,10 |
| 20 | 2,190 | 2,156 | 0,971 | 0,041 | 2,10 | 2,21 |
| 50 | 2,649 | 2,278 | 1,200 | 0,051 | 2,21 | 2,34 |
| 100 | 2,977 | 2,366 | 1,365 | 0,058 | 2,29 | 2,44 |

**Tabel 3.10.** Perhitungan Periode Ulang Arah Timur Laut Dengan Menggunakan Metode Weibull.

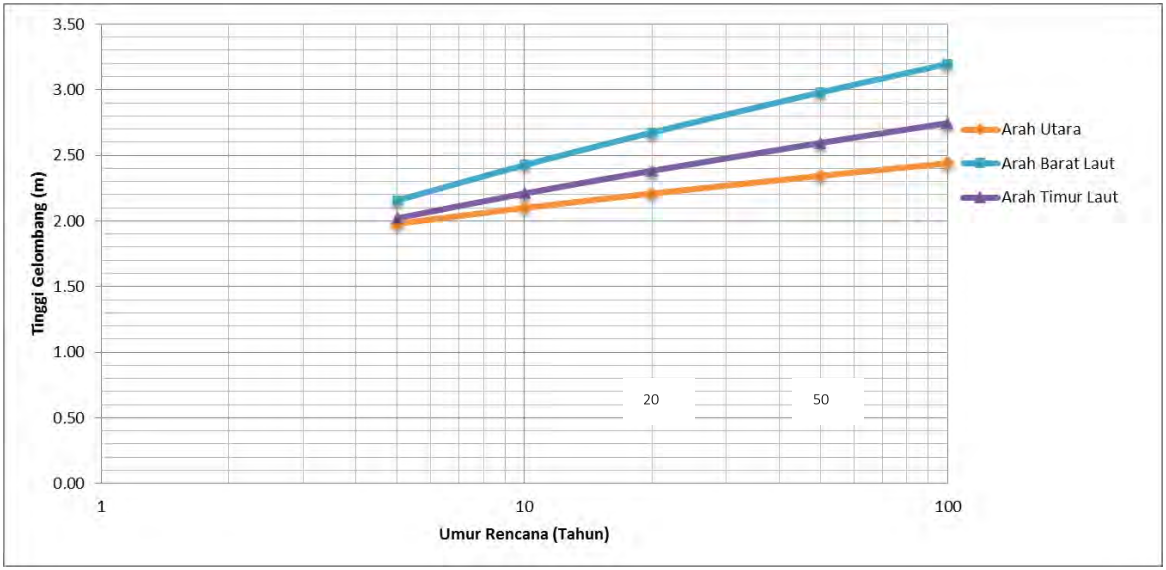
| m | $H_{sm}$ | $F_m$ | $y_m$ | $H_{sm}.y_m$ | $y_m^2$ | $(H_{sm}-\Sigma H_{sm})^2$ | $\hat{H}_{sm}$ | $H_{sm}-\hat{H}_{sm}$ | $(H_{sm}-\hat{H}_{sm})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2,2657 | 0,954 | 2,199 | 4,983 | 4,837 | 0,346 | 2,313 | -0,047 | 0,002 |
| 2 | 1,9591 | 0,874 | 1,477 | 2,893 | 2,181 | 0,079 | 2,007 | -0,048 | 0,002 |
| 3 | 1,9008 | 0,793 | 1,125 | 2,139 | 1,266 | 0,050 | 1,858 | 0,043 | 0,002 |
| 4 | 1,8237 | 0,713 | 0,891 | 1,624 | 0,793 | 0,021 | 1,758 | 0,065 | 0,004 |
| 5 | 1,7247 | 0,632 | 0,714 | 1,232 | 0,510 | 0,002 | 1,684 | 0,041 | 0,002 |
| 6 | 1,642 | 0,552 | 0,573 | 0,941 | 0,328 | 0,001 | 1,624 | 0,018 | 0,000 |
| 7 | 1,6321 | 0,471 | 0,455 | 0,743 | 0,207 | 0,002 | 1,574 | 0,058 | 0,003 |
| 8 | 1,5766 | 0,391 | 0,354 | 0,558 | 0,125 | 0,010 | 1,531 | 0,046 | 0,002 |
| 9 | 1,5444 | 0,310 | 0,265 | 0,410 | 0,070 | 0,018 | 1,493 | 0,051 | 0,003 |
| 10 | 1,3693 | 0,230 | 0,187 | 0,255 | 0,035 | 0,095 | 1,460 | -0,091 | 0,008 |
| 11 | 1,3576 | 0,149 | 0,116 | 0,157 | 0,013 | 0,102 | 1,430 | -0,072 | 0,005 |
| 12 | 1,3373 | 0,069 | 0,051 | 0,068 | 0,003 | 0,116 | 1,402 | -0,065 | 0,004 |
| Jumlah | 20,133 | 6,137 | 8,407 | 16,003 | 10,370 | 0,843 | | | 0,038 |

**Tabel 3.11.** Tinggi Gelombang Utara berdasarkan Periode Ulang Dengan Menggunakan Metode Weibull.

| Periode ulang (Tahun) | $y_r$ (Tahun) | $H_{sr}$ (m) | $\sigma_{nr}$ | $\sigma_r$ | $H_s$-1.28$\sigma_r$ (m) | $H_s$+1.28$\sigma_r$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 1,405 | 1,976 | 0,595 | 0,035 | 1,93 | 2,02 |
| 10 | 1,814 | 2,150 | 0,787 | 0,047 | 2,09 | 2,21 |
| 20 | 2,190 | 2,309 | 0,971 | 0,057 | 2,24 | 2,38 |
| 50 | 2,649 | 2,504 | 1,200 | 0,071 | 2,41 | 2,59 |
| 100 | 2,977 | 2,642 | 1,365 | 0,081 | 2,54 | 2,75 |

**Tabel 3.12.** Tinggi, Periode dan Panjang Gelombang pada Periode Ulang 20, 50, dan 100 tahunan**.**

| Arah | Ho (m) | | | Tp(dt) | | | Lo (m) = 1.56 $T^2$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20 | 50 | 100 | 20 | 50 | 100 | 20 | 50 | 100 |
| Barat Laut | 2.67 | 2.98 | 3.20 | 8.27 | 8.73 | 9.05 | 106.80 | 118.99 | 127.68 |
| Utara | 2.21 | 2.34 | 2.44 | 7.52 | 7.75 | 7.90 | 88.23 | 93.62 | 97.46 |
| Timur Laut | 2.38 | 2.59 | 2.75 | 7.81 | 8.15 | 8.38 | 95.15 | 103.63 | 109.67 |




**Gambar 3.8.** Grafik Tinggi Gelombang Berdasarkan Peride Ulang Arah Barat laut, Utara, dan Timur Laut

Dari **Tabel 3.6** sampai **3.11** serta **Gambar 3.8.** didapatkan tinggi gelombang maksimum pada periode ulang 50 tahun.

**3.3.3.4 Refraksi Gelombang**

Refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di laut transisi dan laut dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Di daerah ini, apabila ditinjau suatu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di air yang lebih dalam akan menjalar dengan kecepatan yang lebih besar daripada bagian air yang lebih dangkal. Sehingga garis puncak gelombang akan membelok serta berusaha agar dapat sejajar dengan garis kontur dasar laut. Jika suatu muka barisan gelombang datang membentuk sudut miring terhadap tepi pantai yang mempunyai kemiringan dasar landai dengan kontur-kontur kedalaman sejajar dengan pantai, maka muka gelombang akan berubah arah serta cenderung menjadi sejajar dengan garis pantai atau mengalami proses pembiasan (refraksi). Penentuan besarnya breaking index dapat digunakan beberapa nilai namun untuk pengerjaan tugas akhir ini digunakan breaking index 0,7.

Perhitungan refraksi gelombang dilakukan berdasarkan gelombang yang datang dari laut dalam menuju kedalaman 20 meter yaitu posisi breakwater. Refraksi ditinjau dari gelombang laut dalam yang datang dari 3 arah yaitu Barat Laut, Utara, dan Timur Laut.

Berikut akan diberikan contoh perhitungan yang ditabelkan pada **Tabel 3.13** sampai **Tabel 3.15** yang didasarkan pada tiap arah orientasi angin yang berpengaruh, yaitu:

- $Hs_0$ = 2,25 m
- T = 9 dtk
- $L_0$ = $1.56xT^2$= $1.56x9^2$= 126,36 m
- $\varphi_0$ = 0º (dari arah Barat Laut)
- $C_0$ $=\frac{L_0}{T} = \frac{126,36}{9} = 14,04\ m/dt$
- d = 27 meter

Dari tabel fungsi d/L didapat :

- $\frac{d}{L_0} = 0{,}2137$
- $\frac{d}{L} = 0{,}2361$
- Ks = 0.964
- $L = \frac{d}{0.2361} = \frac{27}{0{,}2361} = 114{,}36\ m$
- $C = \frac{L}{T} = \frac{126{,}36}{9} = 14{,}04\ m/dt$
- $sin\varphi = \frac{C}{C_0} \cdot sin\varphi_0 = \frac{14{,}04}{12{,}7} \cdot sin0 = 0$
- $\varphi = arc \sin 0 = 0°$
- $K_r = \sqrt{\frac{\cos 0}{\cos 0}} = 1$

$Hs = K_r \cdot K_s \cdot H_0 = 1{,}00 \cdot 0.9210 \cdot 2{,}25 = 2{,}07$ m

**Tabel 3.13.** Tabel Refraksi Gelombang dari laut dalam arah

| Kec. Angin (knot) | $Hs_o$ (m) | T (d) | $\phi_b$ (°) | d (m) | $L_o = 1.56\ T^2$ (m) | $C_o = L_o/T$ | $d/L_o$ | d/L (tabel) | L | $\sin \phi_b$ | $\sin \phi = L * \sin \phi_o / L_o$ | $\phi =$ arc sin $\phi$ | $Kr = (\cos \phi_o/\cos \phi)^{1/2}$ | Ks = (Tabel) | $Hs = Kr*Ks*Hs_o$ (m) | $\gamma =$ Hs/d | Ket |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Barat Laut | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 27,00 | 126,36 | 14,04 | 0,2137 | 0,2361 | 114,36 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9210 | 2,07 | 0,08 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 24,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1899 | 0,2159 | 111,16 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9160 | 2,06 | 0,09 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 21,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1662 | 0,1966 | 106,82 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9130 | 2,05 | 0,10 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 18,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1425 | 0,1766 | 101,93 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9140 | 2,06 | 0,11 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 15,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1187 | 0,1564 | 95,91 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9210 | 2,07 | 0,14 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 12,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0950 | 0,1357 | 88,43 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9380 | 2,11 | 0,18 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 9,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0712 | 0,1149 | 78,33 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,9690 | 2,18 | 0,24 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 6,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0475 | 0,0910 | 65,95 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,0340 | 2,33 | 0,39 | Normal |
| | 2,25 | 9,00 | 0,0 | 3,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0237 | 0,0620 | 48,39 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 1,1890 | 2,68 | 0,89 | Pecah |

**Tabel 3.14.** Tabel Refraksi Gelombang dari laut dalam arah Utara

| Kec. Angin (knot) | $Hs_o$ (m) | T (d) | $\phi_b$ (°) | d (m) | $L_o = 1.56\ T^2$ (m) | $C_o = L_o/T$ | $d/L_o$ | d/L (tabel) | L | $\sin \phi_b$ | $\sin \phi = L * \sin \phi_o / L_o$ | $\phi =$ arc sin $\phi$ | $Kr = (\cos \phi_o/\cos \phi)^{1/2}$ | Ks = (Tabel) | $Hs = Kr*Ks*Hs_o$ (m) | $\gamma =$ Hs/d | Ket |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Utara | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 27,00 | 126,36 | 14,04 | 0,2137 | 0,2361 | 114,36 | 0,707 | 0,640 | 39,788 | 0,959 | 0,9210 | 1,86 | 0,07 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 27,00 | 126,36 | 14,04 | 0,2137 | 0,2361 | 114,36 | 0,707 | 0,640 | 39,788 | 0,959 | 0,9210 | 1,86 | 0,07 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 24,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1899 | 0,2159 | 111,16 | 0,707 | 0,622 | 38,467 | 0,950 | 0,9160 | 1,83 | 0,08 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 21,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1662 | 0,1966 | 106,82 | 0,707 | 0,598 | 36,708 | 0,939 | 0,9130 | 1,80 | 0,09 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 18,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1425 | 0,1766 | 101,93 | 0,707 | 0,570 | 34,776 | 0,928 | 0,9140 | 1,78 | 0,10 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 15,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1187 | 0,1564 | 95,91 | 0,707 | 0,537 | 32,459 | 0,915 | 0,9210 | 1,77 | 0,12 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 12,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0950 | 0,1357 | 88,43 | 0,707 | 0,495 | 29,660 | 0,902 | 0,9380 | 1,78 | 0,15 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 13,00 | 126,36 | 14,04 | 0,1029 | 0,1427 | 91,10 | 0,707 | 0,510 | 30,650 | 0,907 | 0,9310 | 1,77 | 0,14 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 6,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0475 | 0,0910 | 65,95 | 0,707 | 0,369 | 21,657 | 0,872 | 1,0340 | 1,89 | 0,32 | Normal |
| | 2,10 | 9,00 | 45,0 | 3,00 | 126,36 | 14,04 | 0,0237 | 0,0620 | 48,39 | 0,707 | 0,271 | 15,710 | 0,857 | 1,1890 | 2,14 | 0,71 | Pecah |

**Tabel 3.15.** Tabel Refraksi Gelombang dari laut dalam arah Timur Laut

| Kec. Angin (knot) | $Hs_o$ (m) | T (d) | $\phi_o$ ($^o$) | d (m) | $L_o$ = $1.56\ T^2$ (m) | $C_o$ = $L_o/T$ | $d/L_o$ | d/L (tabel) | L | $\sin \phi_o$ | $\sin \phi$ = $L * \sin \phi_o / L_o$ | $\phi$ = arc $\sin \phi$ | Kr = $(\cos \phi_o / \cos \phi)^{1/2}$ | Ks = (Tabel) | Hs = $Kr*Ks*Hs_o$ (m) | $\gamma$ = Hs/d | Ket |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Timur Laut | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 27,00 | 156,00 | 15,60 | 0,1731 | 0,2025 | 133,33 | 1,000 | 0,855 | 58,727 | 0,000 | 0,9140 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 24,00 | 156,00 | 15,60 | 0,1538 | 0,1858 | 129,17 | 1,000 | 0,828 | 55,896 | 0,000 | 0,9130 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 21,00 | 156,00 | 15,60 | 0,1346 | 0,1699 | 123,60 | 1,000 | 0,792 | 52,403 | 0,000 | 0,9160 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 18,00 | 156,00 | 15,60 | 0,1154 | 0,1539 | 116,96 | 1,000 | 0,750 | 48,568 | 0,000 | 0,9230 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 15,00 | 156,00 | 15,60 | 0,0962 | 0,1375 | 109,09 | 1,000 | 0,699 | 44,371 | 0,000 | 0,9360 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 12,00 | 156,00 | 15,60 | 0,0769 | 0,1195 | 100,42 | 1,000 | 0,644 | 40,069 | 0,000 | 0,9610 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 9,00 | 156,00 | 15,60 | 0,0577 | 0,1013 | 88,85 | 1,000 | 0,570 | 34,717 | 0,000 | 1,0010 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 6,00 | 156,00 | 15,60 | 0,0385 | 0,0810 | 74,07 | 1,000 | 0,475 | 28,349 | 0,000 | 1,0750 | 0,00 | 0,00 | Normal |
| | 2,27 | 10,00 | 90,0 | 3,00 | 156,00 | 15,60 | 0,0192 | 0,0561 | 53,47 | 1,000 | 0,343 | 20,043 | 0,000 | 1,2400 | 0,00 | 0,00 | Normal |

### 3.3.4 Analisa Arus

Perilaku arus sangatlah dipengaruhi oleh pola pasang surut karena arus terjadi akibat adanya perbedaan muka air pasang surut yang terjadi pada suatu daerah di sepanjang pantai. Beberapa kegunaan data arus adalah:

- Pada kolam pelabuhan, diharapkan kapal saat memasukinya dapat melakukan manuver yang baik dan benar hingga pada saat merapat ke pelabuhan sehingga arus tegak lurus ( *cross current)* harus dihindarkan.
- Mengevaluasi kondisi stabilitas garis pantai, apakah mengalami erosi atau sedimentasi.

Data arus pada pengerjaan tugas akhir ini bersumber dari Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya. Data yang diperoleh merupakan hasil rekap data rata-rata kecepatan arus tiap hari selama tahun 2013. Data kecepatam rata-rata tipa bulan di analisa, kemudian dilakukan rata-rata kecepatan arus perbulan beserta arah kecepatan arus maksimum yang terjadi pada bulan tersebut.

**Tabel 3.16.** Data kecepatan arus tahun 2013

| Bulan | Kec. Rata-Rata (m/s) | Max Kec. Rata-Rata (m/s) | Arah (Derajat) |
|---|---|---|---|
| Januari | 0.09 | 0.42 | 165 |
| Februari | 0.11 | 0.56 | 212 |
| Maret | 0.02 | 0.06 | 164 |
| April | 0.00 | 0.01 | 68 |
| Mei | 0.06 | 0.12 | 110 |
| Juni | 0.09 | 0.28 | 49 |
| Juli | 0.12 | 0.27 | 50 |
| Agustus | 0.07 | 0.14 | 67 |
| September | 0.06 | 0.14 | 68 |
| Oktober | 0.04 | 0.08 | 78 |
| November | 0.03 | 0.05 | 156 |
| Desember | 0.06 | 0.21 | 234 |

*Sumber : Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya*

Persyaratan yang berlaku untuk kecepatan arus yang diperbolehkan terjadi pada pelabuhan adalah tidak lebih dari 3 knot (1,5 m/s). Dari data arus yang tertera, disimpulkan bahwa perairan waikelo berada pada daerah yang aman untuk navigasi kapal karena kecepatan arus dibawah batas dan tidak terjadi *cross current.*

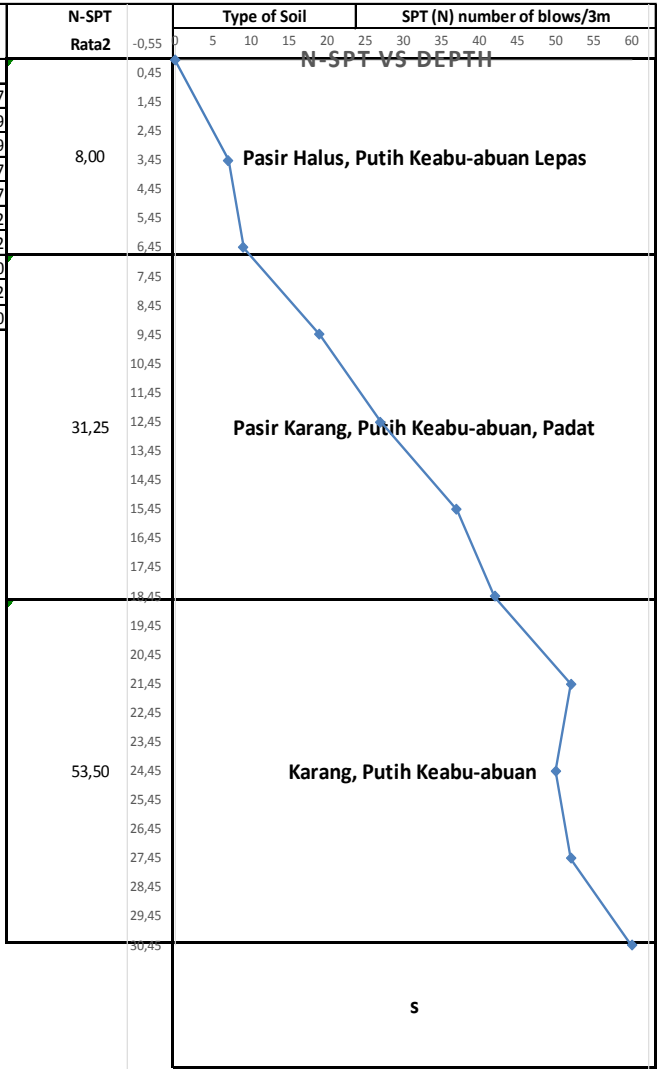
## 3.4. Data tanah

Data tanah dibutuhkan untuk menganalisis kondisi tanah dalam perencanaan struktur bawah breakwater pelabuhan ini. Data yang digunakan merupakan data tanah asli.

Data tanah merupakan standar penetrasi test (SPT) pada lokasi yang didapat melalui titik bor BH-1 pada posisi kedalaman kontur

-1 mLWS dan dilakukan pengeboran sampai kedalaman – 30,45 m dari *seabed* (dasar laut) yang terlampir pada **Gambar 3.9.**

| Depth (m) | N-SPT |
|---|---|
| 0,00 | 0 |
| 3,45 | 7 |
| 6,45 | 9 |
| 9,45 | 19 |
| 12,45 | 27 |
| 15,45 | 37 |
| 18,45 | 42 |
| 21,45 | 52 |
| 24,45 | 50 |
| 27,45 | 52 |
| 30,45 | 60 |




**Gambar 3.9.** Borelog BH-1

### 3.4.1 Pemboran Inti

Pemboran inti yang dilakukan memberikan informasi kondisi tanah sebagai berikut:

- 0.00 – 4.45 m, Pasir Halus, Putih keabu-abuan Lepas dengan SPT (N = 8/60)
- 4.45 – 16.45 m, Pasir karang, putih keabu-abuan, padat dengan SPT (N = 40/60)
- 16.45 – 30.45 m, Karang, Putih Keabu-abuan.

## 3.5 Data Kapal

Dermaga Waikelo merupakan dermaga penyeberangan (Ferry), sehingga data kapal rencana yang dipilih disesuaikan dengan kondisi dan kegunaan dermaga waikelo. Berikut spesifikasinya **(Gambar 3.10.)** :

**Biro Klasifikasi Indonesia**

**DATA REGISTER KAPAL**
***(REGISTER OF SHIP)***

**DATA UMUM :: *GENERAL DATA***

No. Register *(Register No.)* : 9928
Nama Kapal *(Name of Ship)* : WAIKELO INDAH
Status : DICABUT *(WITHDRAWN)*
Material : BAJA *(STEEL)*
Pemilik *(Owner)* :
SUMBA HARAPAN, PT.
JL.GATOTAN NO.53
KREMBANGAN SELATAN
SURABAYA

No. IMO *(IMO No.)* : 8881728
Nama Sebelumnya *(Former Ship Name)* : KIYO MARU NO.8
Jenis Kapal *(Kind Of Ship)* : GENERAL CARGO

Operator :
SUMBA HARAPAN, PT.
JL.GATOTAN NO.53
KREMBANGAN SELATAN
SURABAYA

Pelabuhan Pendaftaran *(Port Of Register)* : SURABAYA
Bendera *(Flag)* : INDONESIA
Dual Kelas *(Dual Class)* :

Tanda Pengenal *(Distinctive Number)* : YFMO
Ex. Dual Kelas *(Former Dual Class)* :

Tanda Kelas & Notasi Lambung *(Class of Hull)* :
A100 L

Tanda Kelas & Notasi Mesin *(Class Of Machine)* :
SM

- GENERAL CARGO SHIP

Instalasi Pendingin *(Refrigerator Install)* :
CMS/CHS :
Tgl. Masuk EKI *(Date of Entry Class EKI)* : 23-6-2006
Pembaruan ke *(No. of Renewal)* : 4
Status Pending :

Bangunan *(Building)* : LAMA *(EXISTED)*

Tgl. Mulai Klas *(Initial Class Period)* : 23-6-2006
Tahunan ke *(No. of Annual)* : 4
Ship Category : Domestic

**DATA LAMBUNG :: *HULL DATA***

Galangan *(Shipbuilder)* : HIYA SHI ZOSEN KABUSHIMI KAISHA
Lokasi *(Place of Build)* : JAPAN
Tanggal Peluncuran *(Date of Launch)* :
LOA (m) : 39.16 LBP (m) : 35.76
LT (mm) : 1560 GT : 296
T (m) : 3.25
J. Geladak *(No. of Decks)* : 2
Ukuran Palka *(Size of Hatchways)* :
J. Sekat Melintang *(No. of Watertight Bulkheads)* : 3
Ø & Panj. Rantai Jangkar *(Ø & L. of Anchor Chain)* : 24/330
J. & Kap. Crane *(No. & Cap. of Crane)* : - x - T

Tahun Bangun *(Year of Build)* : 1981
BMLD (m) : 7 HMLD (m) : 4.8
NT : 145 DWT (ton) : 364
J. Ruang / Tangki Muat *(No. of Hold / Tank)* : -
J. Palka *(No. of Hatchways)* : -

J. Sekat Memanjang *(No. of Long Bulkheads)* : -
J. & Berat Jangkar *(No. & Weight. of Anchor)* : 2/650

**DATA MESIN :: *MACHINERY DATA***

Sistim Start *(Starting Device of Main Engine)* : AKI (BATTERY) 4

Gigi Reduksi *(Gear Ratio)*: 1 : -
Jml. Baling-Baling *(No. of Propeller)* : 1
Kecepatan Dinas *(Service Speed)* : 10
Voltage : 225/110
Daya Listrik *(KVA)* : 90
Jenis Mesin *(Type of Engine)* : DIESEL
Cara Kerja Mesin *(Engine Work Type)* : 4 TAK (CYCLE)

Type Baling-Baling *(Type of Propeller)* :
Kecepatan Coba *(Trail Speed)* : 11
Arus *(Current)* : AC
Jumlah Mesin Bantu *(No. of Aux. Engine)* : 1
Jumlah Mesin Induk *(No. of Main Engine)* : 1
Dia. x Langkah *(Diameter x Stroke)* : 95 x 110

**DATA MESIN INDUK :: *MAIN ENGINE DATA***

| No. | Merk | Manufacture | Cyl | BHP | RPM | Year | Model | Serie | Position |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | YANMAR | YANMAR DIESEL ENGINE CO., LTD. | 6 | 400 | 900 | - | 6 MA-HT | CM 9 F0608 | CA |

**DATA MESIN BANTU :: *AUXILIARY ENGINE DATA***

| Item | Merk | Manufacture | Location | Model | BHP | Year |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A01 | MITSUBISHI | MITSUBISHI DIESEL ENGINE | JAPAN | 4 D 32 | 92 | - |

Last Update Data : 4-April-2014

(*Sumber : Biro Klasifikasi Indonesia*)

**Gambar 3.10.** Data Register Kapal *WAIKELO INDAH*

- Bobot mati : 296 GT
- Panjang kapal (LOA) : 39,16 m
- LT : 1560 mm
- LBP : 35,76 m
- BMLD : 7 m
- HMLD : 4,8 m
- NT : 145
- T (Draft) : 3,25 m

Spesifikasi Kapal yang direncanakan :

- **Bobot mati : 1000 GRT**
- **LOA : 75 m**
- **B : 13 m**
- **Draft : 3,5 m**

## 3.6 Alternatif Pemilihan Struktur

### 3.6.1 Dinding Caison Beton

Pondasi dangkal diperlukan sebagai stabilitas dinding sebelum pemasangan dinding caisson. Pada pembuatan pondasi dangkal berupa tumpukan sirtu pada kedalaman -20 meter sangatlah tidak efektif, karena arus dan gelombang laut sebelum mencapai posisi di dasar laut yang direncanakan akan membawa sirtu yang akan dijadikan pondasi dinding. Kemudian Lebar dinding Caison beton yang dibutuhkan akan menjadi sangat besar karena kedalaman perairan mencapai -25 meter, dimana lebar bangunan tidak boleh kurang ¾ tingginya.

Jadi jika kedalaman 25 meter maka :

L (Lebar bangunan) = ¾ *25 m = 18,75 meter ≈ 19 meter. Dengan meninjau hasil perhitungan tersebut, lebar bangunan sangat besar sehingga volume beton yang dibutuhkan juga akan menjadi sangat banyak dan berpengaruh pada keborosan

anggaran biaya. Maka berdasarkan keadaan perairan, penggunaan caison beton untuk breakwater pelabuhan penyeberangan *Waikelo* tidak efektif dari segi biaya dan metode pelaksanaan.

### 3.6.2 Floating Breakwater (Breakwater Terapung)

*Floating breakwater* tidak terlalu efektif dalam mengurangi tinggi gelombang untuk gelombang besar dibandingkan fixed breakwater, batas atas untuk desain periode gelombang adalah pada kisaran 4-6 detik (sama dengan minimum frekuensi, 1.0 rad/s-1.6 rad/s) (Tsinker 1995). Sedangkan berdasarkan hasil analisa gelombang, didapatkan tinggi gelombang maksimum yang terjadi adalah $\pm 3$ meter dengan periode gelombang 10-11 detik. Jadi penggunaan breakwater tipe *floating* untuk pelabuhan penyeberangan *Waikelo* tidak cocok berdasarkan tinggi gelombang dan periode gelombang yang terjadi.

### 3.6.3 Breakwater Tiang Pancang

Wilayah Perairan Waikelo merupakan perairan dengan kontur dasar laut yang sangat curam dan memiliki gelombang yang cukup besar. Breakwater *Monolith* Tiang pancang dapat digunakan pada perairan dalam dan dapat menahan gelombang yang cukup besar. Lebar bangunan juga tidak terlalu besar, sehingga dari segi biaya dan metode pelaksanaan tipe breakwater ini cocok untuk diaplikasikan untuk menahan gelombang dan melindungi proses embarkasi di pelabuhan penyeberangan *Waikelo*.

Breakwater dinding tegak digunakan pada pemodelan struktur Breakwater, dimana model dinding tegak tersebut terdiri dari deretan tiang pancang baja dengan posisi tegak yang pada bagian belakangnya juga akan ditopang oleh tiang pancang baja dengan posisi miring.

# BAB IV
# EVALUASI LAYOUT BREAKWATER

## 4.1.Umum

Perencanaan breakwater membutuhkan analisa berbagai aspek. Salah satunya adalah kondisi perairan itu sendiri yang akan mempengaruhi desain breakwater dan umur perencanaan breakwater. Sifat karakteristik perairan seperti gelombang dan arus akan di perairain sebelah utara pulau sumba perludiperhatikan karna adanya pengaruh dari perairan Samudera Indonesia yang dapat membentuk gelombang yang besar.

Fasilitas pelabuhan seperti breakwater ini harus direncanakan secara cermat agar tujuannya yaitu kapal yang masuk ke kolam dermaga dapat bermanuver dengan baik. Pada saat bertambat untuk proses bongkar muat dapat dilakukan dengan aman dan nyaman.

## 4.2. Analisa Layout Perairan

Perairan di dalamnya mencakup alur pelayaran yang didalamnya menyangkut panjang, lebar, kedalaman serta hambatan yang pada pelayaran yang aman dan nyaman untuk dilalui kapal terutama saat memasuki kolam pelabuhan. Breakwater merupakan batas pada wiayah pelabuhan. Pertimbangan teknis dalam penentuan kebutuhan alur pelayaran adalah sebagai berikut.

- ✓ Alur Pelayaran

  Penentuan alur pelayaran adalah berdasarkan arah datang gelombang dan arus dimana kondisi berupa *cross current*harus dihindarkan yaitu kondisi dimana gelombang dan arus yang datang tidak dalam posisi tegak lurus dengan dermaga sehingga akan menyulitkan kapal untuk bertambat. Alur pelayaran harus dibuat sesuai dengan kebutuhan dan dalam ukuran yang tepat.

  Selain panjang alur, hal yang harus diperhatkan adalah lebar alur.Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi

kebutuhan lebar alur seperti *cross current,* gelombang *swell,* angin dan jarak pandang. Pada **Tabel 4.1.**akan disajikan perhitungan alur masuk.

**Tabel 4.1** Perhitungan Alur Masuk

| Lokasi Alur (Entrance Channel) | Ukuran | Keterangan | Hitung | Pakai |
|---|---|---|---|---|
| Kedalaman Nominal (tidak termasuk toleransi dasar laut) | 1.2*d | Laut terbuka | 4,2 | 5 |
| | 1.15*d | Alur terbuka | 4,025 | 5 |
| | 1.1*d | Depan dermaga | 3,85 | 4 |
| Lebar untuk alur panjang | 2*LOA | Kapal sering berpapasan | 150 | 150 |
| | 1.5*LOA | Kapal jarang berpapasan | 112,5 | 113 |
| Lebar untuk alur tidak panjang | 1.5*LOA | Kapal sering berpapasan | 112,5 | 113 |
| | 1*LOA | Kapal jarang berpapasan | 75 | 75 |
| Panjang alur (stopping distrance) | 7*LOA | ±10000 DWT, 16 knots | 525 | 525 |
| | 18*LOA | ±200000 DWT, 16 knots | 1350 | 1350 |
| | 1*LOA | ±10000 DWT, 5 knots | 75 | 75 |
| | 3*LOA | ±200000 DWT, 5 knots | 225 | 225 |
| | 5*LOA | Kapal ballast/kosong | 375 | 375 |

✓ Kolam Putar (*Turning Basin)*

Pada kolam dermaga waikelo ini diharapkan kapal yang melintas dapat bermanuver dengan kecepatan rendah dan lebarnya untuk alur tidak panjang. Daerah ini termasuk kategori kapal yang jarang berpapasan karena merupakan pelabuhan penyeberangan. Area yang disediakan dibatasi dengan bentuk lingkaran berdiameter ($D_b$). sedangkan alur masuk pelayaran disamakan dengan kedalaman perairan.

Db = 1.5*LOA = 1.5*75 = 112.5 meter (diameter minimal)

✓ Kedalaman Perairan

Berdasarkan ketentuan yang ada, kedalaman perairan harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar. Rumus dalam perairan tipe ini adalah

1.2*draft* kapal =1.2*3,5= 4,2 ≈ 5 meter
karena tipe perairan pada lokasi ini dianggap perairan terbuka bergelombang.

- ✓ Panjang Jalur Masuk (Entrance Channel)
  Panjang minimal jalur masuk untuk pelabuhan penyeberangan dengan kecepatan kapal 5 knot :
  P = 1,5*LOA= 1,5*75 = 112,5 ≈ 113 meter

## 4.3. Perencanaan Layout Breakwater

### 4.3.1 Faktor Yang Berpengaruh dalam Perencanaan

Fungsi utama dalam perencanaan breakwater adalah saat kapal masuk dalam kolam perlabuhan, dapat bermanuver dengan baik juga hingga pada saat kapal bertambat di dermaga.

faktor – faktor yang mempengaruhi perencanaan pada layout dan konfigurasi bangunan tersebut bedasarkan diktat kuliah pelabuhan adalah sebagai berikut:

a. Frekuensi dan tinggi arah dari gelombang yang datang, serta kondisi nyata lingkungan alam sekitarnya, direkomendasikan agar posisi ujung breakwater berada pada arah datang gelombang tinggi d engan frekuensi terendah.
b. Kemudahan bagi kapal dalam bernavigasi di lingkungan peabuhan.
c. Kualitas air di kolam dan ketenangan perairan di sisi kolam pelabuhan tersebut.
d. Lebar dan posisi mulut serta kemungkinan efek difraksi yang akan terjadi, direkomendasikan agar sesuai dengan kebutuhan lebar alur, Karena makin lebar mulut pelabuhan maka makin tinggi pula gelombang dari luar tidak berkurang di dalam pelabuhan.
e. Perencanaan elevasi puncak breakwater sumerged, overtoping, atau non overtopping. Elevasi bergantng pada anggaran yang tersedia, kegiatan pelabuhan, kesibukan lau lintas, serta fungsi dari breakwater itu sendiri.

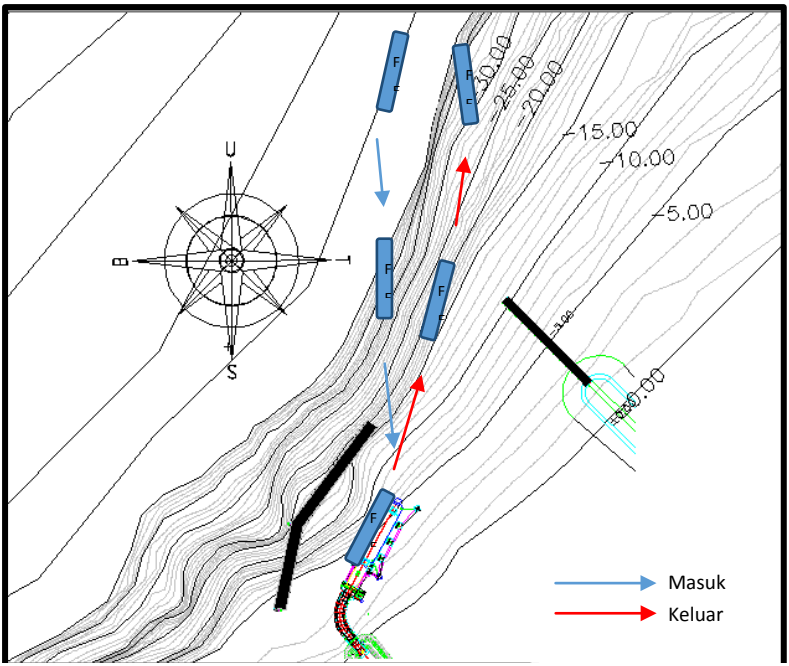
f. Kebutuhan ruang bagi kapal untuk bermanuver di kolam pelabuuhan dan keseluruhan ukuran kolam di dalam pelabuhan.
g. Kecepatan dan arah arus, hal ini penting dalam penentuan panjang kaki breakwater.
h. Biaya pembangunan dan perawatan dipilih yang paling murah.
i. Rencana pembangunan pelabuhan jangka panjang di masa mendatang.

### 4.3.2 Layout Breakwater

Perencanaan breakwater Dermaga Waikelo ini menggunakan layout baru yang disesuaikan dengan *masterplan*.Dalam perencanaan tersebut breakwater pertama yaitu sebelah barat daya yang terletak 48 meter dari dermaga ini terdiri dari dua segmen yang membentang dari arah barat daya dengan kedalaman -4mLWS ke arah timur laut sampai kedalaman –20 mLWS sepanjang 61,19 meter, kemudian membelok ke arah timur mengikuti kontur -20 mLWS sepanjang 88,50 meter.Dengan memperhitungkan layout perairan pada point 4.2.kapal dapat bermanuver dengan baik dan tidak terhalang oleh alur masuk.

Perairan laut waikelo merupakan perairan laut dalam. Pemodelan struktur *Breakwater* dengan tipe Rubble Mount atau Dinding caison tidak memungkinkan untuk direalisasikan karena dimensinya yang akan sangat besar sehingga mengakibatkan keborosan dari segi biaya konstruksi.

Pada pemodelan tugas akhir ini struktur yang cocok untuk direalisasikan adalah Breakwater dinding tegak (monolith) yang strukturnya terdiri dari deretan tiang pancang baja (sheet pile) posisi tegak dengan penopang berposisi miring yang berada di belakangnya.




**Gambar 4.1**. Layout Dermaga Ferry Waikelo

Pada gambar di atas (**Gambar 4.1.**) dapat dilihat bahwa terdapat breakwater satu segmen di sebelah timur memanjang tegak lurus garis pantai ke arah laut. Pada pengerjaan tugas akhir ini akan dievaluasi juga kebutuhan dan keefektifan breakwater ini apakah dibutuhkan dalam perencanaan ulang nantinya. Hasil dari evaluasi dibatasi dengan saran apakah breakwater ini penting atau tidak.

## 4.4. Permodelan Gelombang

Perencanaan breakwater sangat dipengaruhi oleh sifat dan kharakteristik gelombang yang terjadi disekitar bangunan. Hal – hal yang mempengaruhi diataranya adalah refraksi dan difraksi gelombang. Analisa permodelan gelombang pada pengerjaan

tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program SMS 10.1.

Pada program ini dapat ditampilkan permodelan gelombang dimana dapat dilihat keadaan perairan sebelum dan sesudah adanya breakwater Pada **Gambar 4.2 – 4.16**Pemodelan dengan menggunakan SMS 10.1 dilakukan berdasarkan hasil olahan tinggi gelombang periode ulang 50 tahun pada tiga arah datang pengaruh yaitu barat laut, utara, dan timur laut.

Proses dalam pemodelan dengan SMS 10.1 ini menggunakan rumus-rumus yang dipakai dalam menampilkan tinggi gelombang yang datang dari tiga arah pengaruh, dengan rumus *Wave-Action Balance Equation with Diffraction* sebagai berikut :

$$\frac{\partial[(cgx+u)A]}{\partial x} + \frac{\partial[(cgy+v)\,A]}{\partial y} + \frac{\partial[cg\theta\ .\ A]}{\partial \theta} = \frac{\kappa}{2\sigma}\{(cc_g cos^2\theta A_y)_y - \frac{1}{2}cc_g cos^2\theta A_{yy}\} + S_{in} + S_{dp}$$

Dimana :

A = E/σ , spektrum aksi gelombang

E = E(σ, $\theta$), spektrum gelombang berarah.

### 4.4.1. Pemodelan Sebelum Ada Breakwater

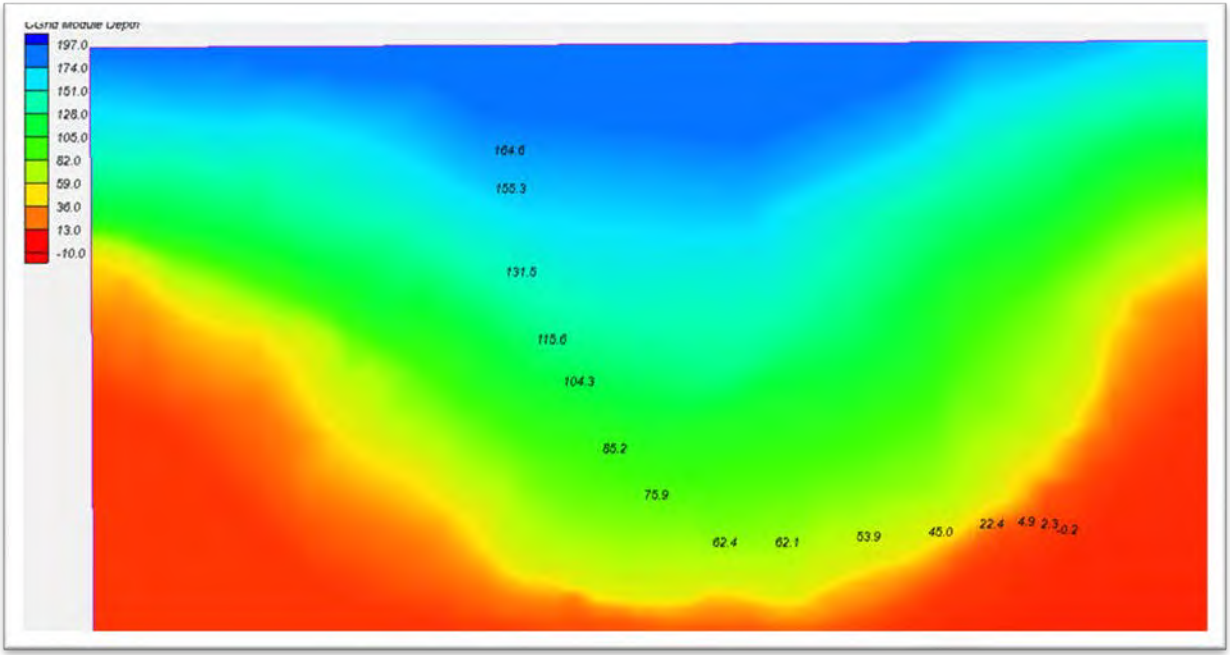
Sebelum ada breakwater kondisi perairan di teluk waikelo, peta bathymetri dimodelkan terlebih dahulu sehingga menunjukan kondisi kontur kedalaman perairan. Kontur perairan dapat dilihat dengan tampilan warna dari daratan yaitu merah sampai laut terdalam yaitu warna biru laut. Pada **Gambar 4.2.**dapat dilihat pemodelan bathymetri pada perairan di Teluk Waikelo.

Langkah – langkah dalam pemodelan bathymetri ini adalah :

1. Menjadikan bathymetri kedalam bentuk autocad. Buat file yang berisikan hanya kontur saja.
2. Menyimpan file gambar dalam format .dxf
3. Mengkonversi gambar berformat .dxf menjadi koordinat .xyz dengan software DXF2XYZ.

4. Buka program SMS 10.1, kemudian masukkan file gambar yang sudah menjadi format .xyz .
5. Setelah keluar titik-titik merah, kemudian bentuk buat grid yang menjadikan luas daerah pemodelan.
6. Pada grid akan ada dua arah panah yaitu O dan I, kemudian putar arah grid tersebut sehingga huruf I mengarah pada daratan.
7. Sesuaikan luas grid agar tidak melebihi jangkauan daerah kontur karna akan membuat error saat menjalankan pemodelan.
8. Lakukan setingan pada menu display agar warna pada pemodelan keluar. Pilih contours dan vectors pada cartesian grid selanjutnya color fill pada contours dan terakhir on a grid pada vectors.
9. Pemodelan bathymetri akan keluar dengan sajian warna-warna yang menunjukan kedalaman perairan.
10. Untuk memunculkan angka kedalaman pada gambar, klik pada menu bar selanjutnya klik sembarang pada gambar sehingga akan muncul angka kedalaman.

Berikut hasil pemodelan Bathymetri dengan menggunakan SMS 10.1 pada **Gambar 4.2.**dan pada **Gambar 4.4** sampai **4.6**adalah pemodelan perairan teluk waikelo dengan tinjauan tiga arah angin pengaruh barat laut, utara, dan timur laut.



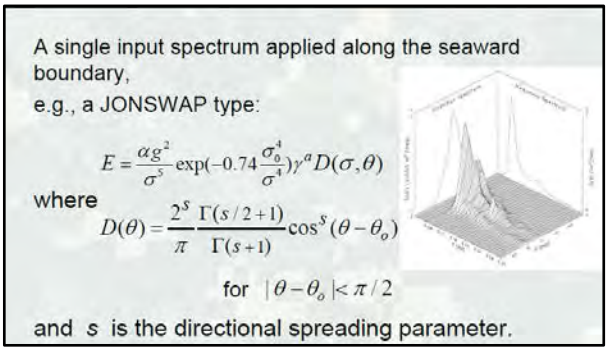

**Gambar 4.2.** Pemodelan Bathymetri Teluk Waikelo

### 4.4.2.Pemodelan Arah Datang Gelombang

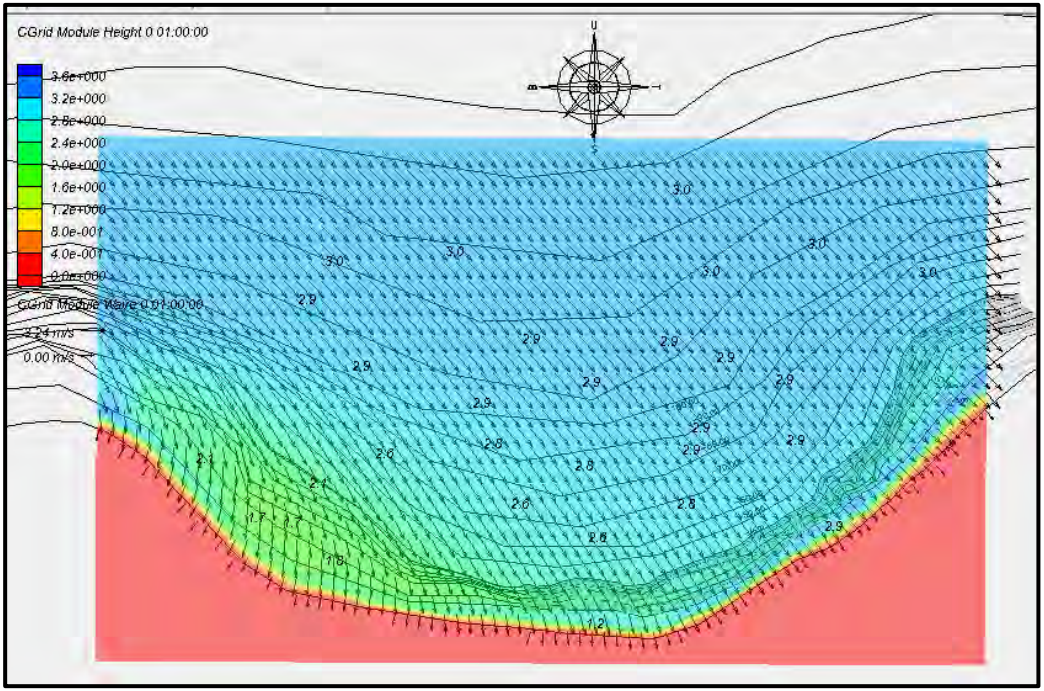
Setelah keluar tampilan bathymetri diatas selanjutnya akan dilakaukan pemodelan arah dan tinggi gelombang. Pada prinsipnya pada pemodelan ini adalah proses refraksi yaitu pembelokan arah datang gelombang tegak lurus garis pantai dan difraksi yaitu pembelokan arah gelombang akibat adanya penghadang seperti breakwater ke belakang penghadang tersebut.

Pemodelan ini karna akan menganalisa kondisi perairan akibat adanya breakwater, maka input data tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang pada periode ulang 50 tahun. Tiga arah gelombang pengaruh dengan tinggi gelombang periode ulang tersebut adalah barat laut (2,98 meter), utara (2,34 meter), dan timur laut (2.59) yang akan di input pada spectral energy.

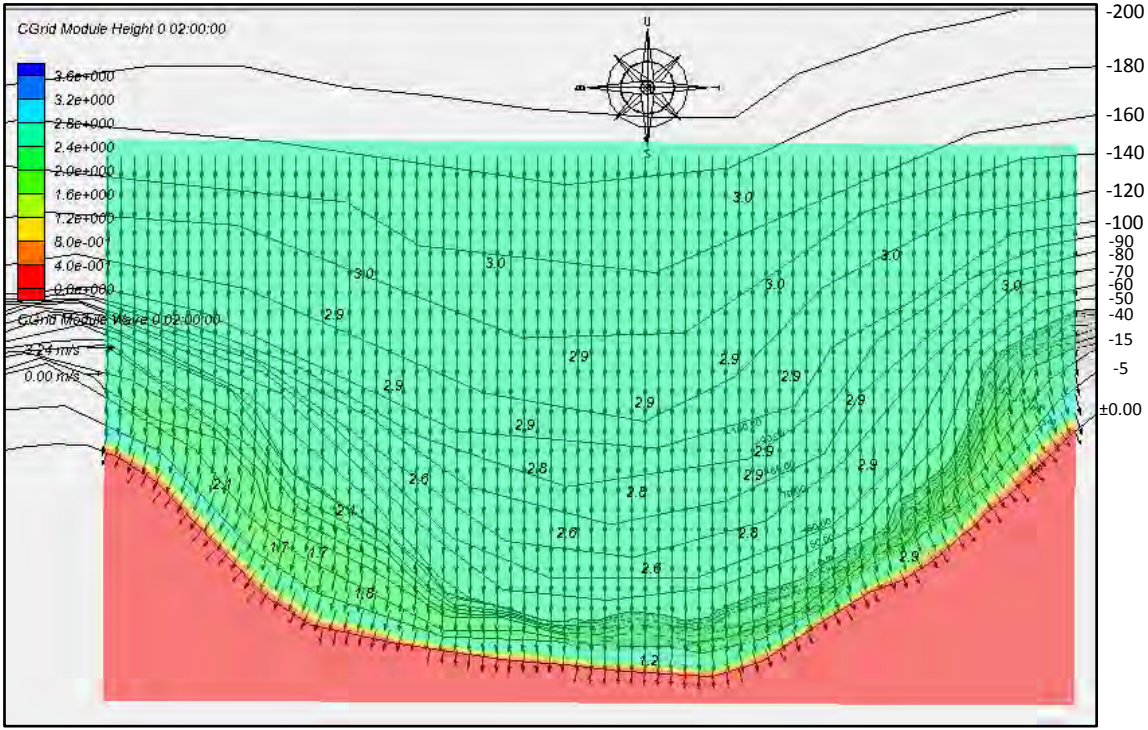
Pada menu *model control* dipilih *Extended Goda* karena dalam pemodelan gelombang ini, nantinya dalam mendapat kan gaya akibat gelombang menggunakan metode goda. Pada spectral energy, tipe spektrum yang digunakan adalah Jonswap karena tipe gelombang yang di modelkan adalah gelombang ireguler (Irregular Wave). Berikut **Gambar 4.3.**adalah perumusan Jonswap Spectrum.



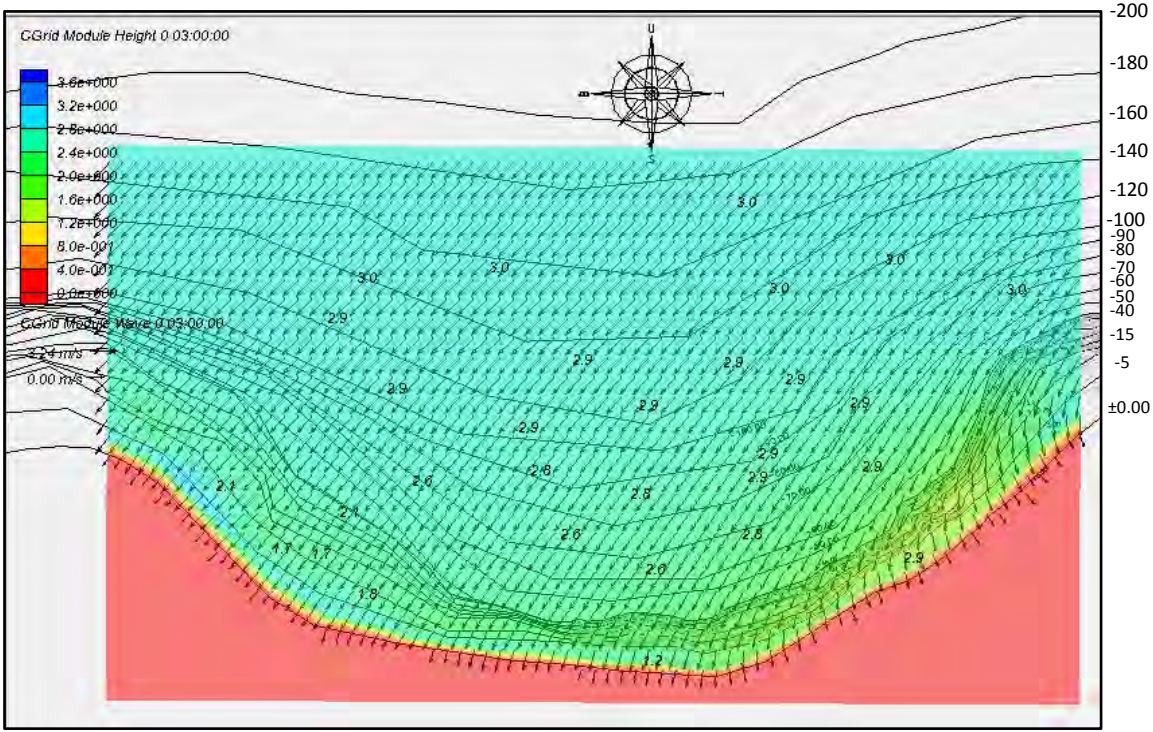

**Gambar 4.3.**U.S. Army Engineer Research and Development Center.




**Gambar 4.4.** Pemodelan Tinggi Gelombang arah Barat Laut Teluk Waikelo




**Gambar 4.5.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Utara Teluk Waikelo




**Gambar 4.6.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Timur Laut Teluk Waikelo

### 4.4.3. Pemodelan AkibatAdanya BreakwaterBarat

Pada pemodelan di atas dapat kita lihat kondisi gelombang di teluk yang memiliki tinggi gelombang dominan dari arah barat laut. Setelah kita melihat kondisi dari perairan secara keseluruhan, selanjutnya akan dianalisis kndisi perairan setelah adanya breakwater.

Dalam memodelkan kondisi perairan dermaga secara lebih detail, maka dibutuhkan kontur yang lebih detail pula. Grid baru dibuat untuk memodelkan lebih detail. Sama hal nya dalam membuat grid secara keseluruhan, maka grid baru yang lebih kecil disesuaikan dengan arah panah I pengarah ke pantai seperti pada **Gambar 4.7.**

Grid baru yang lebih kecil merupakan *Nest Grid* pada program SMS 10.1. input data tidak perlu dimasukkan kembali karena merupakan bagian dari Grid yang lebih besar.

Breakwater dimodelkan berdasarkan layout rencana dengan memilih lalu ditarik pada grid sesuai dengan layout rencana. Pilih tipe bangunan yaitu wall breakwater beserta tinggi bangunan yang di rencanakan pada *cell attributes.*

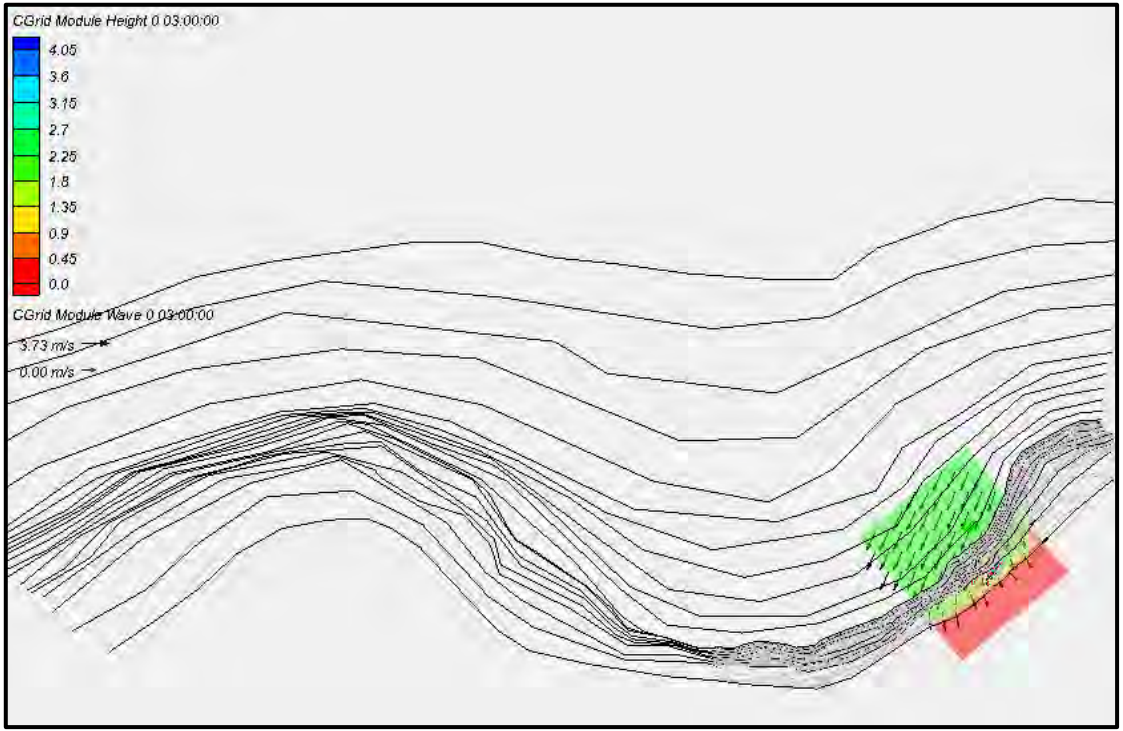
Pada pemodelan ini, data yang dimasukan merupakan hasil perhitungan periode ulang 50 tahun tinggi gelombang. Tinggi gelombang tersebut digunakan sebagai dasar perencanaan dimensi struktur yang diharapkan efektif dalam menahan gelombang yang datang. Berikut pada **Tabel 4.2.**adalahtinggi gelombang periode ulang tersebut.

**Tabel 4.2.**Tabel Periode Ulang 50 Tahun Gelombang

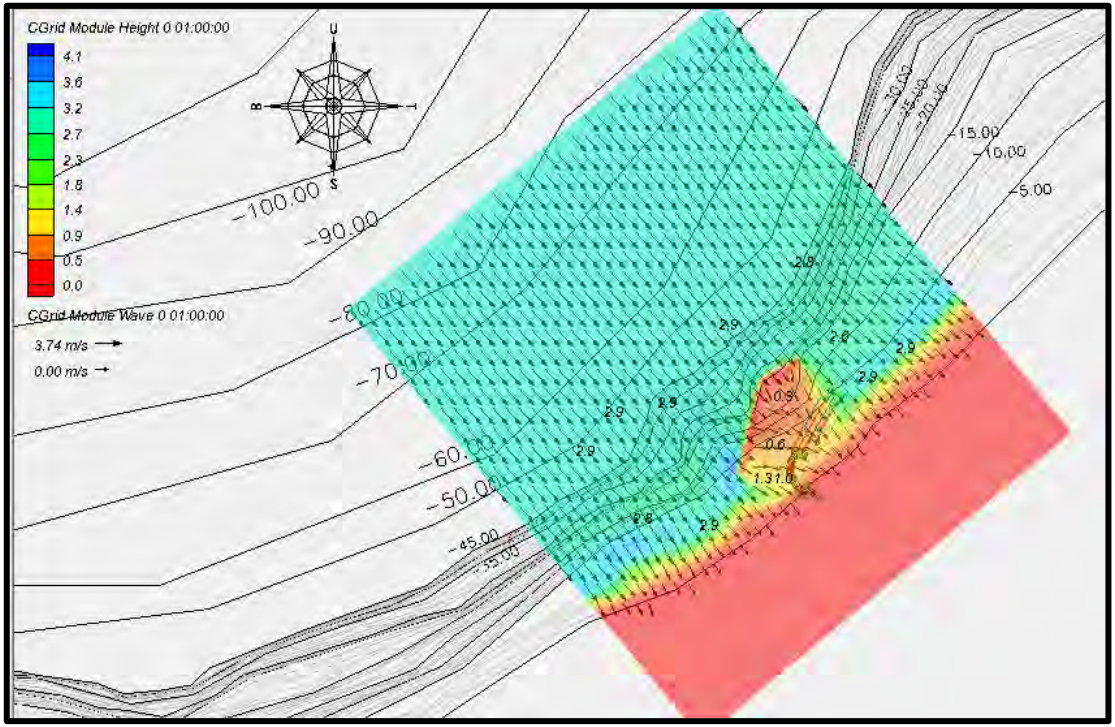
| Arah | H Periode Ulang 50th (m) |
|---|---|
| Barat Laut | 2,98 |
| Utara | 2,34 |
| Timur Laut | 2,59 |

Setelah proses input data telah dilakukan, data disimpan dan diberi nama kemudian lakukan *Run CMS-wave.* Pada **Gambar 4.8**dan **Gambar4.9** dapat dilihat kondisi perairan dermaga yang dimana gelombang datang dari arah barat laut dengan ketinggian 2,9 meter lalu mengalami pembelokan arah gelombang (refraksi) sepanjang pendangkalan kontur laut.

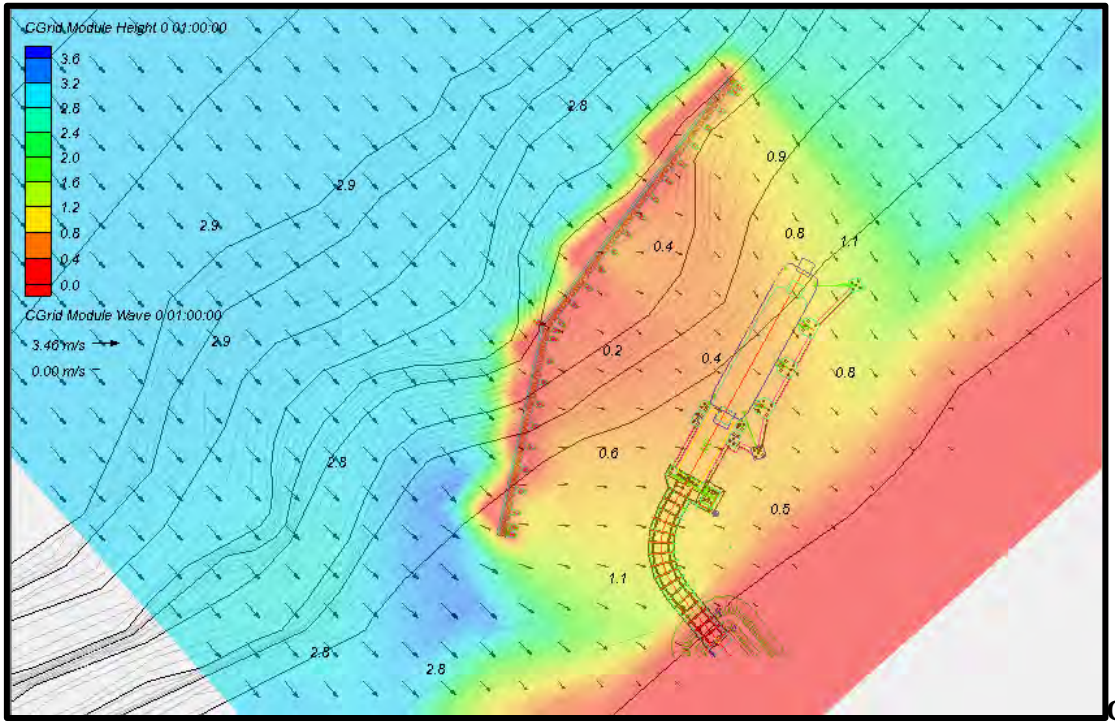
Pada saat didepan breakwater, tinggi gelombang mencapai 2,6 meter namun setelah menabrak breakwater, tinggi gelombang di belakang breakwater menjadi tenang dengan ketinggian dibawah 1 m eter. Dapat dilihat bahwa jangkauan warna yang ditunjukan adalah merah hingga kuning sampai pada dermaga waikelo itu sendiri.




**Gambar 4.7.** Pemodelan Tinggi Gelombang Dermaga Waikelo




**Gambar 4.8.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut Breakwater Barat




**Gambar 4.9.** KondisiPerairan Dermaga akibat Tinggi Gelombang Arah Barat Laut

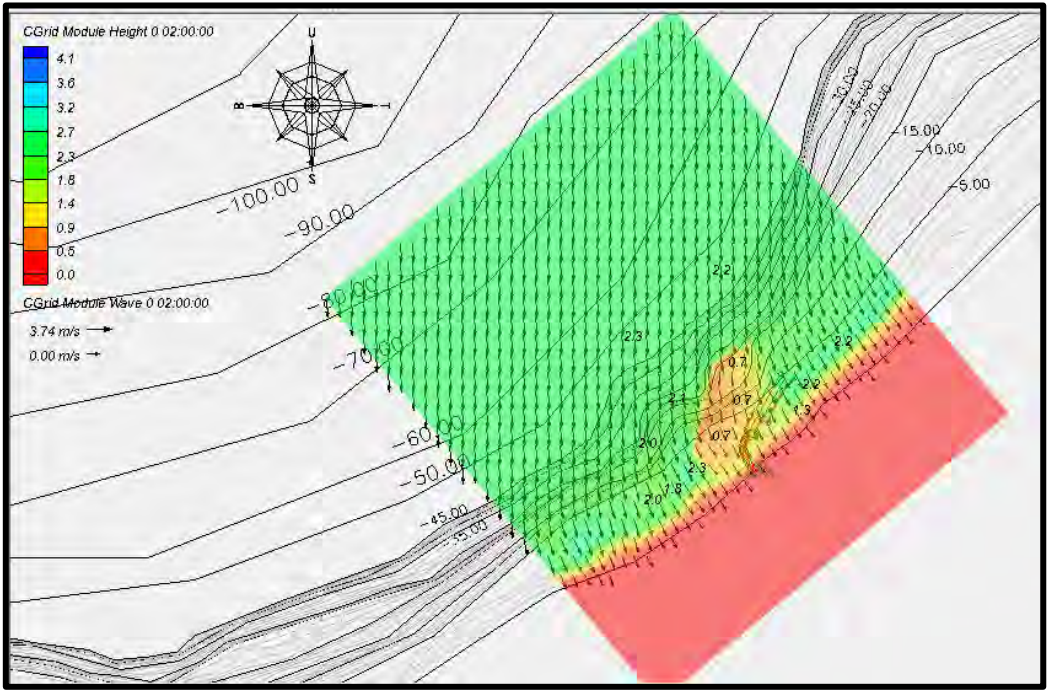
Dapat disimpulkan bahwa setelah adanya breakwater, daerah perairan dikatakan tenang setelah adanya breakwater yang menahantinggi gelombang pengaruh dari arah barat laut hingga ketinggian gelombang menjadi dibawah 1 meter.

Arah gelombang pengaruh utara menjadi tinjauan selanjutnya pada pemodelan ini. Dapat dilihat pada **Gambar 4.10.** dan**Gambar 4.11**bahwa gelombang datang dari arah utara namun tidak sebesar arah dominan barat laut yaitu sebesar 2,2 meter dengan warna yang muncul adalah hijau. Setelah menghantam breakwater, gelombang mengalami difraksi dimana gelombang berbelok kearah terliindung di belakang breakwater. Tinggi gelombang dikategorikan tenang yaitu masih dibawah 1 meter dengan warna yang ditampilkan yaitu merah hingga kuning.

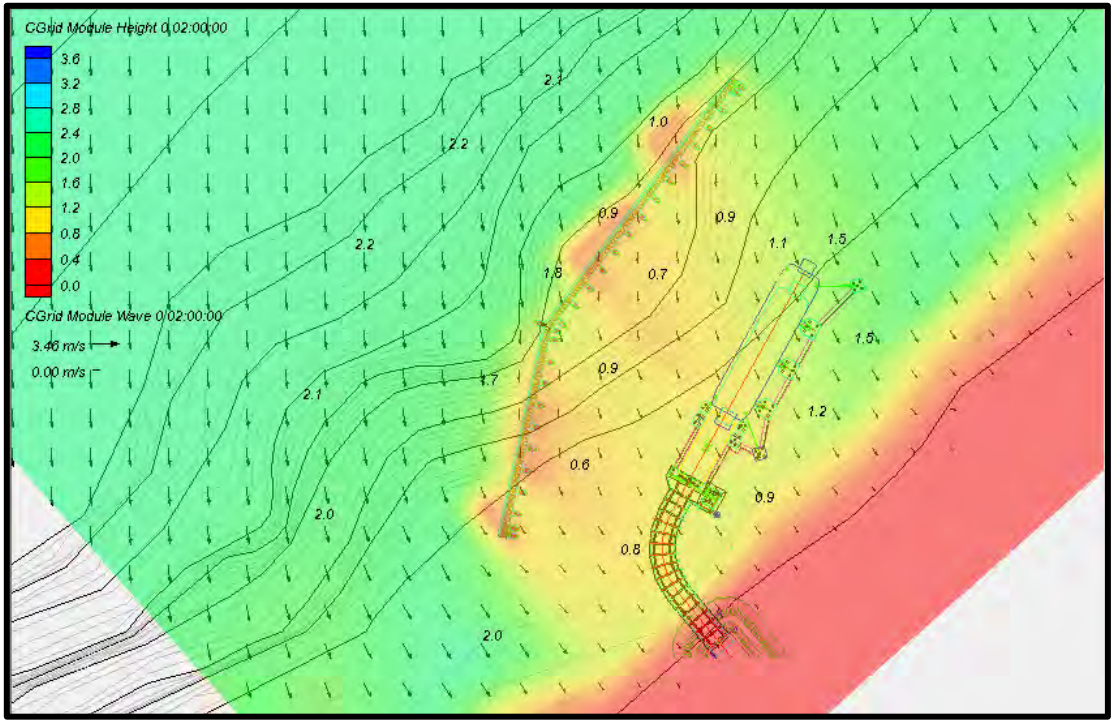
Dari hasil analisis gelombang datang arah utara di atas, Dapat disimpulkan bahwa setelah adanya breakwater, daerah perairan dikatakan tenang setelah adanya breakwater yang menahan tinggi gelombang pengaruh dari arah utara hingga ketinggian gelombang menjadi dibawah 1 meter. Kapal yang bertambat dan akan meninggalkan dermaga masih bias bermanuver dengan baik.

Arah gelombang pengaruh terakhir dalam tinjauan pada pemodelanSMS 10.1 adalah arah timur laut. Pada **Gambar 4.12 dan Gambar 4.13** tinggi gelombang datang merupakan yang terkecil dibadingkan arah barat laut dan utara, yaitu ketinggian hanya mencapai 1,9 meter dengan warna yang ditampilkan adalah hijau. Setelah menghantam breakwater, gelombang mengalami difraksi berbelok kearah terlindung di belakang breakwater. Tinggi gelombang masih dikategorikan tenang yaitu masih dibawah 1 m eter dengan warna yang ditampilkan yaitu merah hingga kuning.

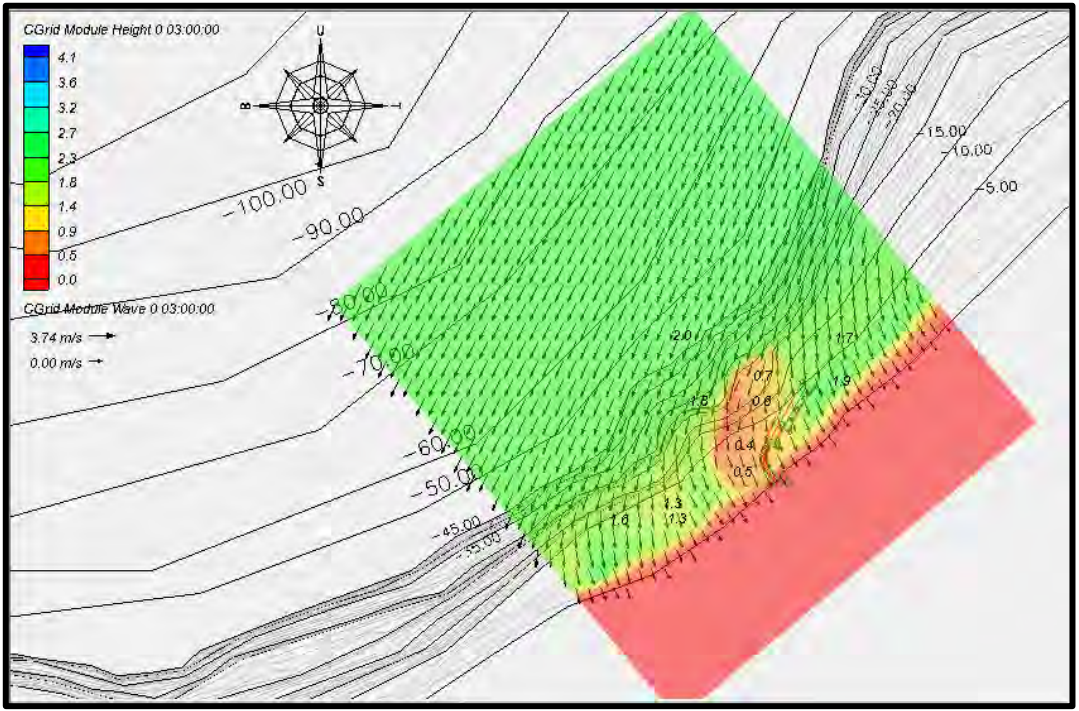
Dengan kondisi tersebut, seperti halnya arah gelombang datang yang lain, dapat disimpulkan bahwa perairan dermaga setelah ada breakwater dikatakan tenang dan aman untuk kapal bermanuver.



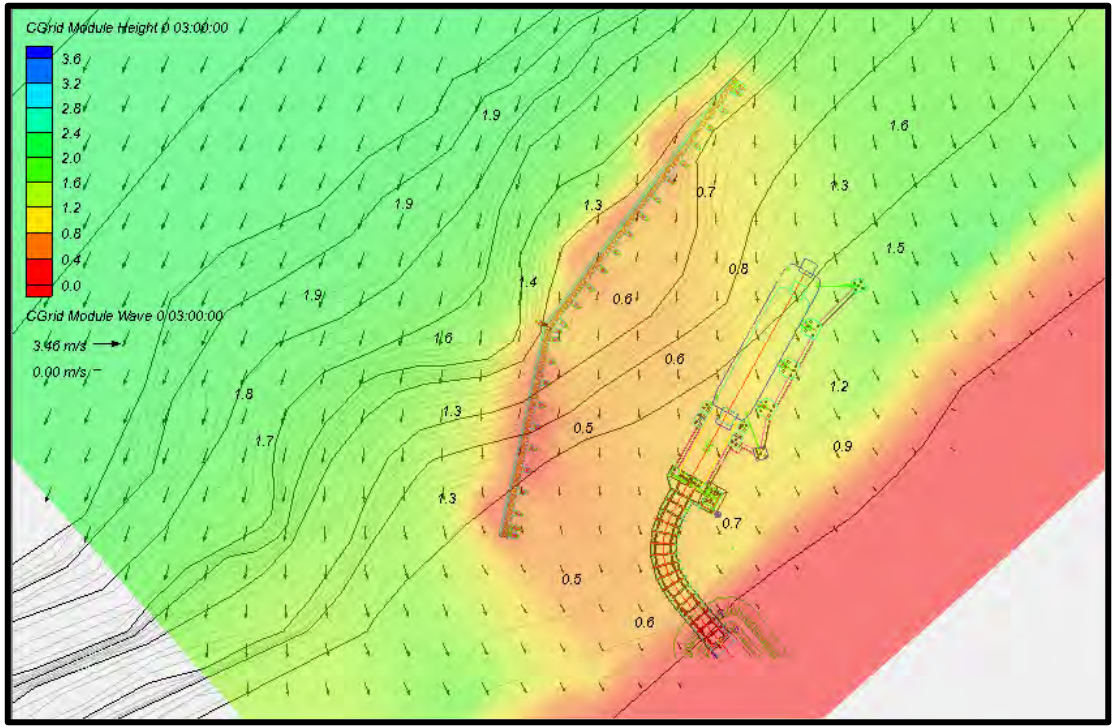

**Gambar 4.10.**Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Utara Breakwater Barat




**Gambar 4.11.** Kondisi Perairan Dermaga akibat Tinggi Gelombang Arah Utara




**Gambar 4.12.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Timur Laut Breakwater Barat




**Gambar 4.13.** Kondisi Perairan Dermaga akibat Tinggi Gelombang Arah Timur Laut

Setelah menganalisa hasil pemodelan yang terlampir pada **Gambar 4.8.**sampai dengan **Gambar 4.13.**dapat dilihat bahwa akibat adanya breakwater sisi barat memiliki fungsi yang signifikan akan pengurangan tinggi gelombang sebagai syarat yang diinginkan pada kolam dermaga yang dimana diharapkan tinggi gelombang yang diharapkan dapat membuat kapal yang masuk dapat bermanuver dan melakukan bongkar muat dengan lancar. Hasil perubahan tinggi gelombang di depan dan belakang adalah sebagai berikut (**Tabel 4.3.**)

### 4.4.4. Pemodelan Akibat Adanya Breakwater Timur

Pada kondisi di lapangan terdapat dua breakwater, yaitu breakwater sisi barat dan timur. Seperti kita ketahui bahwa terjadi keruntuhan pada breakwater sisi barat akibat terjadinya gelombang yang tinggi hingga mencapai 5 meter dan gempa bumi sebesar 6.3 SR. Keruntuhan tidak terjadi pada breakwater sebelah timur. Breakwater timur terdiri dari 2 jenis tipe yaitu Rubble Mount membentang dari pantai kearah laut hingga kedalaman -3 mLWS kemudian disambung dengan breakwater tegak tiang pancang hingga kedalaman -10 mLWS.

Kondisi keutuhan breakwater timur ini dianalisis dengan pemodelan menggunakan SMS 10.1 dengan meninjau arah datang,tinggi gelombang datang, refraksi, difraksi pada saat adanya breakwater sebelah timur.

Pada **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa arah gelombang datang barat laut memiliki tinggi geombang sebesar 2,9 meter, namun saat mengenai breakwater sisi timur, tidak adanya penurunan tinggi gelombang hingga pada saat mencapai pantai dimana ketinggian gelombang masih mencapai 2 meter.

Perhatikan jugapada **Gambar 4.15**bahwa tinggi gelombang pada arah datang utara sebesar 2,3 meter. Pada saat mengalami refraksi menuju pantai, tinggi gelombang saat mencapai pantai masih setinggi 2 meter.

Arah terakhir yaitu timur laut, pada **Gambar 4.16** terlihat bahwa tinggi gelombang datang yaitu 2,3 meter, namun saat

menghantam breakwater tidak terjadi penurunan tinggi gelombang secara signifikan sehingga tinggi gelombang di pantai masih mencapai 1,5 meter.

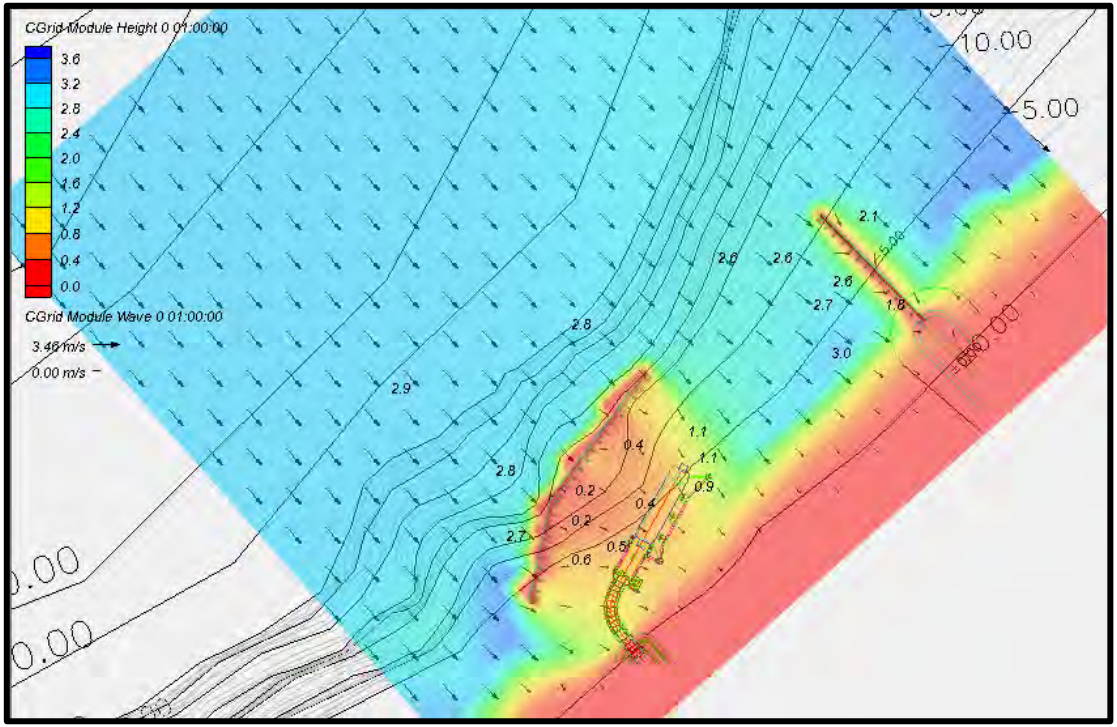
Kesimpulan yang didapat d ari hasil analisis adalah breakwater sebelah di timur tidak disarankan untuk dibangun akibat tidak adanya efek yang signifikan untuk menghasilkan gelombang yang tenang dengan tinggi gelombang kurang dari 2 meter pada perairan Dermaga Waikelo. Hasil pengamatan dapat dilihat pada **Tabel 4.3.**

**Tabel 4.3.** Perubahan Tinggi Gelombang Datang

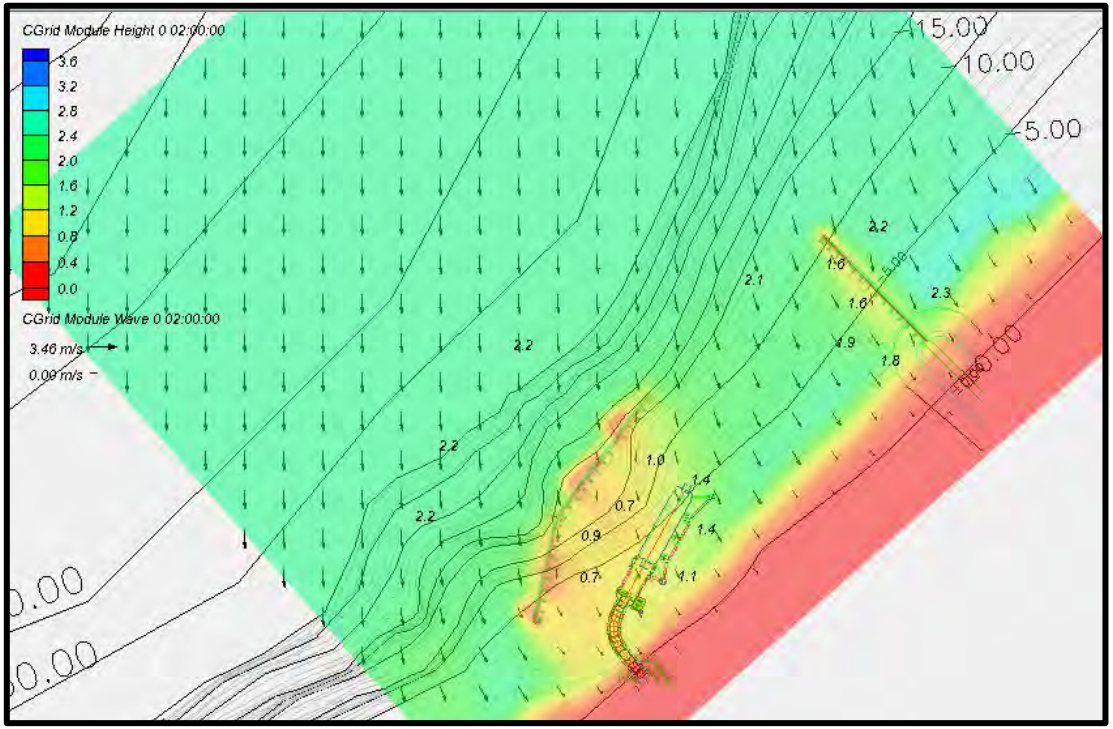
| Arah | Tinggi Gelombang (meter) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Breakwater Barat | | Breakwater Timur | |
| | Depan | Belakang | Depan | Belakang |
| Barat Laut | 2.5 | 0.1 - 0.3 | 3 | 3 |
| Utara | 1.8 | 0.4 - 0.9 | 2.2 | 1.8 |
| Timur Laut | 1.3 | 0.3 - 0.6 | 1.7 | 1.5 |

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa tinggi gelombang yang tereduksi di sekitar dermaga akibat breakwater masih mencapai 0,9 meter, seperti pada arah dating gelombang Utara. Perlu diketahui bahwa pemodelan ini adalah sebagai acuan dalam penentuan tinggi struktur breakwater sebagai pelindung gelombang datang yang tinggi. Data yang diinput di awal merupakan tinggi gelombang periode ulang 50 tahun. Sehingga tinggi gelombang pada tabel di atas adalah kejadian tinggi gelombang terburuk yang kemungkinan terjadinya sangat kecil. Jika dengan kejadian periode ulang 50 t ahun gelombang dapat tereduksi menjadi tinggi pada **Tabel 4.3**, dapat disimpulkan breakwater dapat mereduksi tinggi gelombang harian dengan

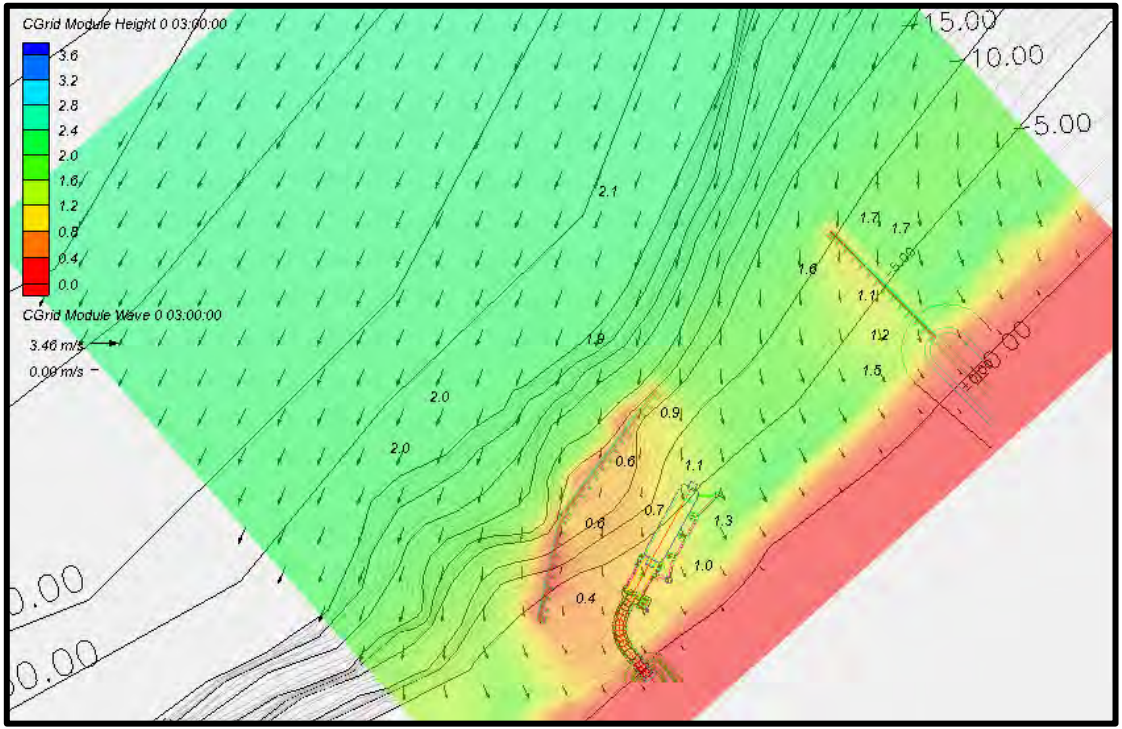
sangat efektif dengan tinggi gelombang mendekati 0 (nol) meter sehingga kolam dermaga dikatakan tenang.




**Gambar 4.14.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut Breakwater Timur




**Gambar 4.15.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Utara Breakwater Timur




**Gambar 4.16.** Pemodelan Tinggi Gelombang Arah Timur Laut Breakwater Timur

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB V
# KRITERIA DESAIN

## 5.1 Peraturan yang Digunakan

Perencanaan breakwater Dermaga Waikelo menggunakan beberapa peraturan sebagai pedoman dan dasar perencencanaan, antara lain :

1. **SNI 03-1726-2012**
   Mengandung peraturan sebagai pedoman dalam merencanalan struktur beton bertulang.
2. **PBI 1971**
   Sebagai dasar perencanaan beton metode elastis.
3. **API WSD 2000**
   Dimana penerapan gaya gelombang terhadap struktur ada pada peraturan ini.
4. Standar dan peraturan lain yang masih dapat digunakan sejauh tidak menyimpang dari ketentuan yang berlaku.

## 5.2. Kualitas Bahan dan Material

### 5.2.1 Mutu Beton

Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS 1992 bagian 6, Tabel 6.2, menjelaskan bahwa untuk beton yang berada di dalam air pada permukaan dan komponen lainnya dan berada pada daerah pasang surut, maka dikategorikan dalam klasfikasi C. Klasifikasi tersebut mengharuskan mutu beton yang digunakan harus memiiliki kuat tekan karakteristik ( f'c) minimal 35 MPa. Sehingga spesifikasi beton yang yang akan digunakn pada perencanaan berikut adalah:

- f' c : 35 MPa
  : 350 Kg/cm$^2$
- Modulus Elastisitas berdasarkan PBI 1971 persamaan 11.1.1.

$$Ec = 6400\sqrt{350}\,kgf \cdot cm^{-2} = 1.197 \times 10^5\,kgf \cdot cm^{-2}$$

### 5.2.2 Mutu Baja Tulangan

Mutu baja tulangan diambil kelas U39 berdasarkan BMS 1992 Tabel 6.12 dengan spesifikasi sebagai berikut :

a. Tipe mutu baja yang digunakan untuk tulangan struktur ini adalah kelas U39 dengan kekuatan leleh minimum (fy) adalah 390 MPa (Digunakan Tulangan Ulir 400 MPa)
b. Mutu tiang pancang pipa baja yang disesuaikan dengan mutu baja tiang pancang adalah JIS A 5525 Class 2 STK 41 (SKK 400)

## 5.3. Kriteria Kapal Rencana

Perencanaan pelabuhan ini disesuaikan dengan jenis pelayanan yang diberlakukan. Jenis kapal yang dilayani pada pelabuhan penyeberangan *Waikelo* ini adalah kapal tipe *Ferry*, berikut spesifikasi kapal:

- ✓ Bobot mati : 1000 GRT
- ✓ Panjang kapal (LOA) : 75 meter
- ✓ Lebar kapal (*Width*) : 13 meter
- ✓ Draft kosong : 3,5 meter

Layout alur pelayaran dan breakwater terambil dari data-data di atas yang digunakan untuk menentukan perencanaan dari pada bab 4.

## 5.4. Data Perencanaan

BJ air laut : 1,025 t/m$^3$
Kecepatan Arus : 1,5 m/s
Percepatan Gravitasi : 9,8 m/det2
Tinggi Gelombang : 2,98 m
Periode Gelombang : 8,73 detik
Tiang pancang : Steel Pipe Pile ⌀ = 1016 mm , t=19 mm Size Specification JIS A 5525 STK 41

## 5.5. Asumsi Dimensi

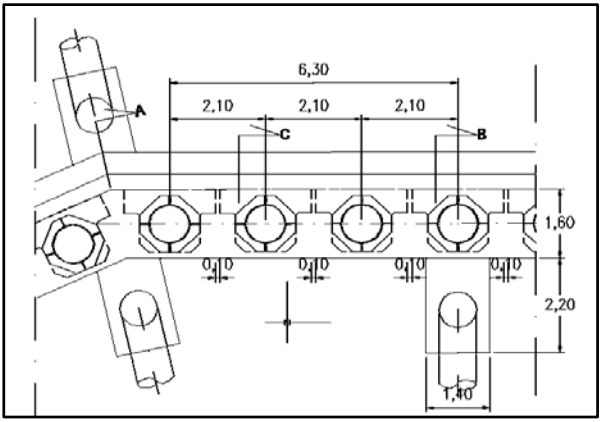
### 5.5.1. Poer Breakwater Monolith

Perencanaan yang dilakukan :
Tebal poer = 180 cm
Panjang poer = 160 cm
Lebar poer = 210 cm (satu segmen)
Decking = 8 cm
Diameter sengkang = 10 mm
Diameter tul.pokok = 19 mm

**Tabel 5.1** Spesifikasi Tiang Pancang Baja

| Outside Diameter | Wall thickness | Cross-sectional area | Unit Weight | Momen of inertia | Modulus of Section | Radius of gyration of area | Outside surface area |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | mm | cm2 | kg/m | I (cm4) | Z (cm3) | i (cm) | m2/m |
| 1016 | 19 | 595,1 | 467 | 740000 | 14600 | 35,2 | 3,19 |

*Sumber : Hyundai Hysco Stell Pipe*

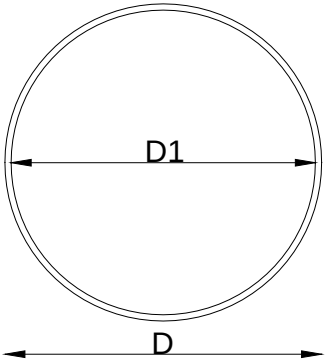



**Gambar 5.1** Tampak Atas Perencanaan Poer

### 5.5.2.Tiang Pancang Breakwater Monolith

Tiang pancang yang digunakan adalah tipe *steel pile* dengan spesifikasi mengikuti JIS A 5525 STK 41 dengan data-data sebagai berikut :

- Diameter (D) = 1016 mm =101,6 cm
- Diameter dalam (D1) = 978 mm = 97,8 cm
- Tebal (t) = 19 mm = 1,9 cm




**Gambar 5.2** Penampang Tiang Pancang

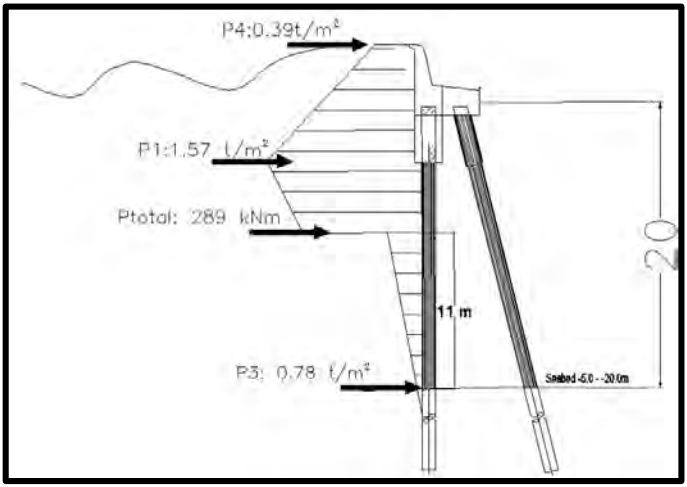
# BAB VI
# PERENCANAAN STRUKTUR BREAKWATER

## 6.1. BREAKWATER TIPE MONOLITH

### 6.1.1 Perhitungann Gaya-Gaya Yang Bekerja

Perencanaan breakwater waikelo ini memperhitungkan beban yang berpengaruh pada struktur. Beban tersebut adalah beban yang diakibatkan oleh tekanan gelombang sedangkan beban lain seperti tekanan hidrostatis tidak diperhitungkan karena sifatnya yang menetralkan yaitu karena gaya tersebut datang dari segala arah yang berlawanan dan akan saling menghilangkan.

Perhitungan tekanan gelombang laut menggunakan metode Goda (1985) dimana dapat digunakan pada berbagai kondisi gelombang sehingga akan mempengaruhi perencanaan struktur yang akan direncanakan.




**Gambar 6.1.** Perencanaan Struktur *Breakwater* Tipe Monolith

Pada **Gambar 6.1**. dapat dilihat distribusi tekanan gelombang berbentuk trapesium yang didapat berdasakan

metode Goda dimana dapat dilihat bahwa P1 merupakan gaya terbesar yang terjadi.

Perhitungan dengan menggunakan metode ini berdasarkan letak ujung terluar breakwater yang terletak pada kedalaman -20 mLWS. Tinggi gelombang refraksi dari laut dalam didapat berdasarkan dari tabel refraksi pada Bab 3, **Tabel 3.13**

Gelombang : H'o = 1.25 m
$T_{1/3}$ = 9 dt
B = 0°
Pasang surut W.L = 3m
Kemiringan *Seabed* = tan Ø = 6/100 ≈ 0,06
Perhitungan :

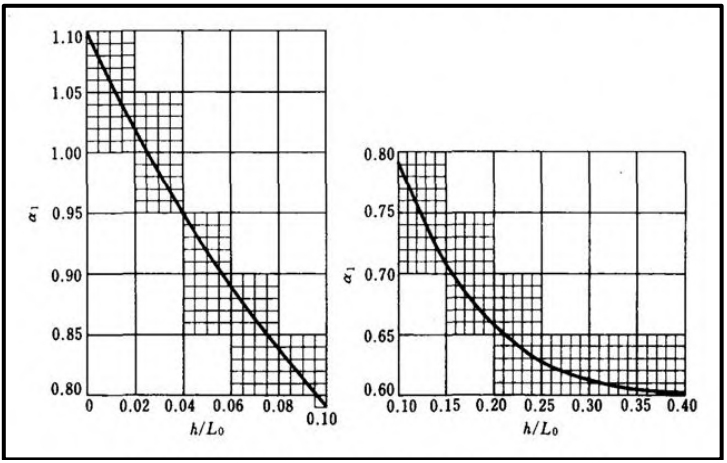
1. Kedalaman Air dan elevasi puncak gelombang
   h = 23 meter
   d = 23 meter
   h' = 23 meter
   hc = 2.5 meter
2. Panjang dan tinggi gelombang
   Lo = 1,56 $T^2$
   = 126.36 meter
   H'o / Lo = 0.01 h/Lo = 0.182
   $H_{1/3}$ = min {($\beta_0$ $H'_0$ + β1 h) , βmax $H'_0$ , Ks $H'_0$}
   = 1.25 meter
   Hb = h + h seabed x H 1/3 x 6/100
   = 24.5 m
   H max = **2.98** m

3. Koefisien tekanan Gelombang
   Untuk mendapatkan koefisien α1 dan α2 didapat dari grafik pada **Gambar 6.1 dan 6.2** sehingga mendapatkan α3.
   - $\alpha 1 = 0.6 + \frac{1}{2}\left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right]^2$

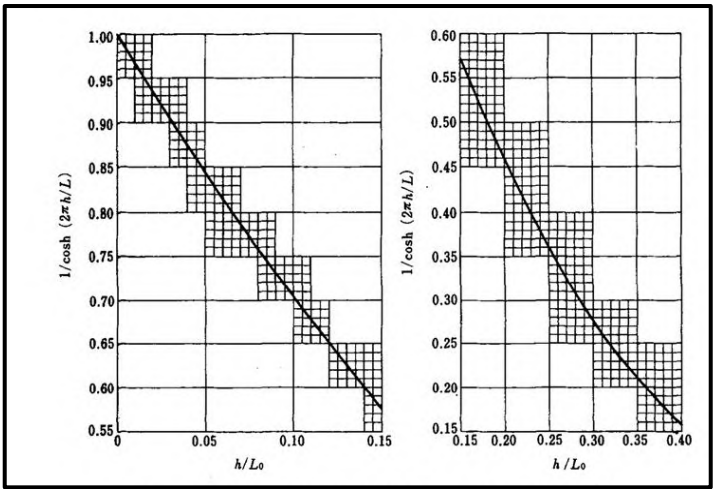
= 0.67 (**Gambar 6.1**)

- $\alpha 2 = min\left[\frac{hb-d}{3\,hb}\left(\frac{Hmax}{d}\right)^2, \frac{2d}{Hmax}\right]$
  = 0.512 (**Gambar 6.2**)

- $\alpha 3 = 1 - \frac{h\prime}{h}\left[1 - \frac{1}{\cosh\left(2\pi h/_L\right)}\right]$
  = 0.512




**Gambar 6.2.** Diagram perhitungan untuk parameter α1




**Gambar 6.3.** Diagram perhitungan untuk parameter α2

4. Elevasi maksimum tekanan gelombang
   - $\cos\beta = 1$ ; $0{,}5 \times (1 + \cos\beta) = 1$
   - $\eta^* = 0{,}75\,(1 + \cos\beta)\,H_{max}$
     $= 3.38$ meter

5. Komponen-komponen tekanan
   - $P1 = 0{,}5 \times (1 + \cos\beta)\,(\alpha 1 + \alpha 2 \cos^2\beta)\,\rho g\,H_{max}$
     $= 15.2$ kPa $\approx 1.52$ t/m$^2$
   - $P3 = \alpha 3 \times P1$
     $= 7.79$ kPa $\approx 0.78$ t/m$^2$
   - $P4 = P1 \times (1 - h_c/\eta^*)$
     $= 3.9$ kPa $\approx 0.39$ t/m$^2$

6. Tekanan Total
   - $h^*c = \min\{\eta^*, h_c\}$
     $= 2.5$
   - $P = 0.5\,(P1 + P3)h' + 0.5\,(P1 + P4)h'_c$
     $= 289$ kN/m

7. Momen tekanan gelombang

   $Mp = 1/6\ (2\ P1 + P3)h'^2 + 0{,}5(P1 + P4)h'\ h^* c + 1/6\ (P1 + 2P4)h'c^2$

   $= 289$ kN/m

8. Tekanan dibawah gelombang lembah

   - Wave Steepness

     H'o /Lo = 0.010

     h / Lo = 0.182

     P min / wo Hh = 0.72 ( **Gambar 6.4**)

     P min = P x (P min / wo Hh )

     = 207.81 kN/m

     s/h = 0.51 (**Gambar 6.5**)

     s = h x (s/h)

     = 11.73 m (dari seabed)

   - Tekanan bawah

     (ρ 2' / woH) = 0.6 (**Gambar 6.6**)

     ρ 2' = 173.17 kN/m

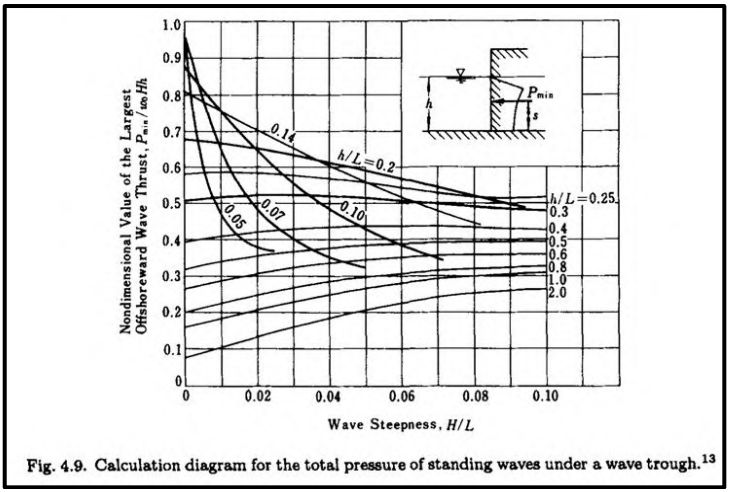
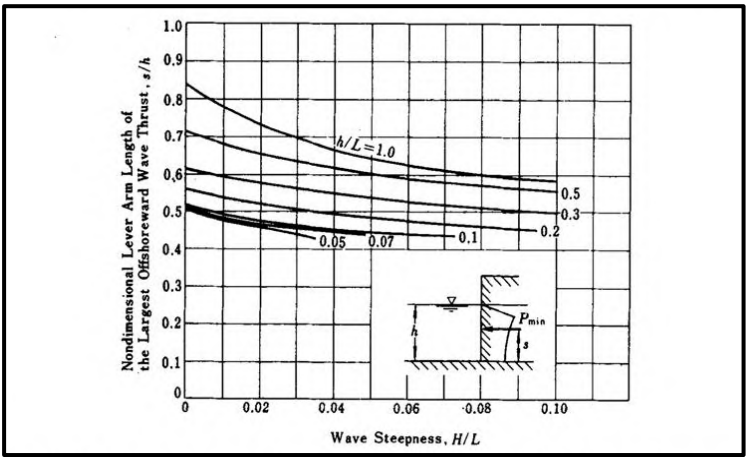
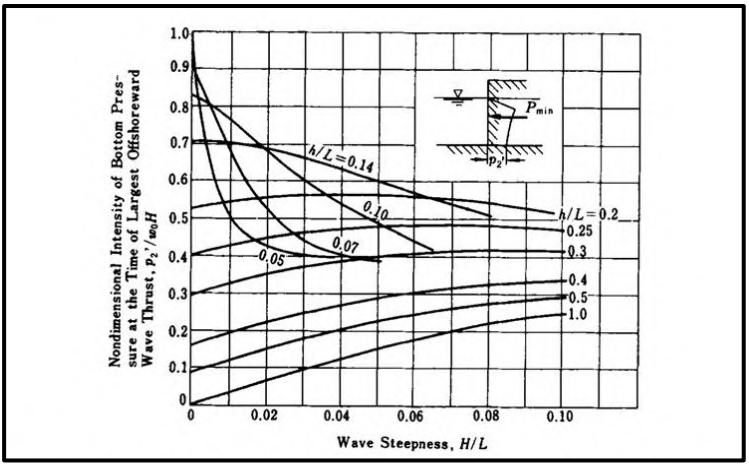



Fig. 4.9. Calculation diagram for the total pressure of standing waves under a wave trough.[13]

**Gambar 6.4**. Diagram perhitungan total pada tekanan gelombang berdiri dibawah gelombang lembah



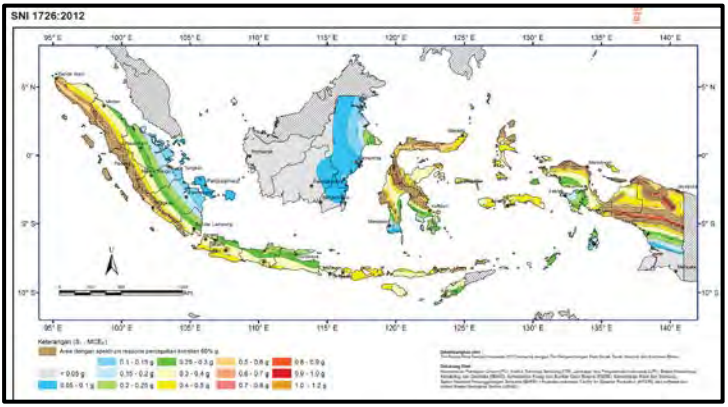

**Gambar 6.5.** Diagram panjang lengan tekanan gelombang




**Gambar 6.6.** Diagram Tekanan Bawah

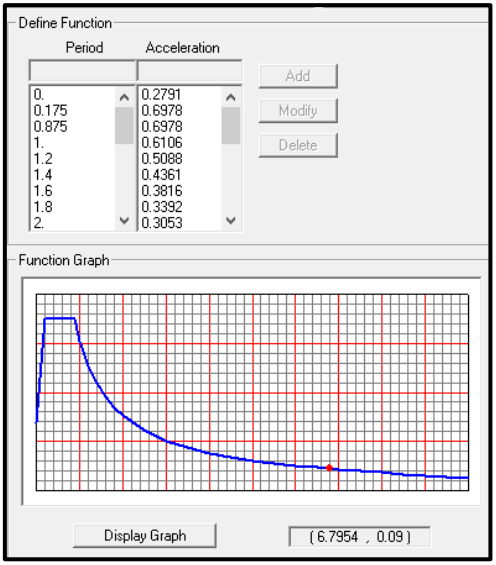
### 6.1.2 Beban Gempa

Kondisi perencanaan struktur breakwater ini menyesuaikan wilayah gempa 5 yang memiliki response spektrum wilayah tersebut. Peraturan yang digunakan merupakan SNI 03-1726-2012 dengan peta wilayah sebagai berikut.




**Gambar 6.7.** Peta Gempa Sesuai SNI 03-1726-2012

Berikut merupakan grafik response spektrum wilayah gempa 5 tanah lunak pada SAP 2000 :




**Gambar 6.8.** Grafik Response Spektrum Wilayah Gempa 5 (Tanah Lunak) Pada SAP 2000

✓ **Kombinasi Pembebanan**

Berdasarkan SNI Gempa 1726 -2012, Kombinasi yang digunakan pada analisa struktur breakwater ini adalah :

***) Desain Renforced Concrete**

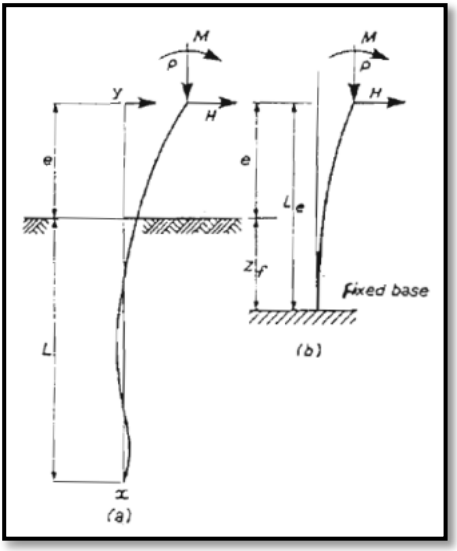
Kombinasi I = 1,2D + 1,6L
Kombinasi II = 1,2D + 1L+ 1W
Kombinasi III = 1,2D + 1L+ 1W +1GempaX
Kombinasi IV = 1,2D + 1L+ 1W +1GempaY

***) Stability Of Pile Foundation**

Kombinasi I = 1D +1L
Kombinasi II = 1D +1L+ 1W

Kombinasi III = 1D + 1L+ 1W +1GempaX
Kombinasi IV = 1D + 1L+ 1W +1GempaY

- ✓ Perhitungan Titik Jepit Tanah dan Kekuatan Tiang Pancang
  - o Perumusan berikut merupakan letak titik jepit tanah terhadap tiang pondasi (Zf) :
    Untuk normally concolidated clay dan granular soil atau yang memiliki kenaikan lunier harga modulus, maka nilai Zf = 1,8T.




**Gambar 6.9.** Partly-embedded pile & equivalent fixed base pile or column

Harga – harga T didapat dengan cara sebagai berikut:

Stiffness factor $T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$ (dalam satuan panjang).

Dimana:

- Harga-harga $n_h$ untuk submerged soil (Dense) = 12 MN/m$^3$ .
- E = modulus elastisitas Young tiang
- = 2,1 x10$^6$ kg/cm$^2$
- I = momen inersia = 740000 cm$^4$

$$T = \sqrt[5]{\frac{2{,}1x10^6\, x740000}{1{,}2}} = 264{,}52$$

$$Zf = 1{,}8x264{,}52 = 476{,}14cm \approx 4{,}8m$$

### 6.1.3. Perencanaan Poer Breakwater

Deretan tiang pancang pada perencanaan breakwater tipe monolith ini berdiri sendiri dengan desain sayap poer yang saling menahan. Berdasarkan perhitungan gaya gelombang dengan menggunakan Metode Goda diperoleh data perencanaan poer sebagai berikut :

P = 53 ton
Mtotal = 230,76 t.m
= 23,076,000 kg.cm

Direncanakan :
Tebal poer = 180 cm
Panjang poer = 380 cm
Lebar poer = 630 cm ( jarak antar As)
T= 180/630 = 0.28<0.4 , maka untuk perhitungan tulangan, poer dianalisis sebagai pelat dengan data-data sebagai berikut :

- Tebal pelat, $h_b$ : 180 cm
- Lebar, $b_b$ : 630 cm
- Decking,d : 8 cm
- Diameter sengkang,Ø : 10 mm

- Diameter tulangan pokok :D29 mm

**Perencanaan Tulangan Lentur Plat/Poer**

Dari perhitungan metode Goda, didapatkan momen maksimum yang terjadi adalah 230,8 **tm** sehingga,

Mu = 230,8 tm = 2308 knm

$Mn = \frac{Mu}{f}$ f = Faktor reduksi kekuatan lentur = 0,85

$$Mn = \frac{2308}{0,85}$$

$$Mn = 2715,29 kNm$$

Direncanakan :

Tulangan arah X D = 29 mm

Tulangan arah Y D = 29 mm

Selimut beton ts = 80 mm

dy = h – Sel. Beton – Ø – 0,5D

= 1800 – 80 – 10 – (0,5 x 29)= 1695,5 mm

dx = h – Sel. Beton – 0,5D

= 1800 – 80 – (0,5 x 29)= 1405,5 mm

Penentuan Rasio Tulangan Minimum ($\rho_{min}$)

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{fy} = \frac{1.4}{400} = 0,0035$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times dy^2} = \frac{2715,29}{1000 \times 1695,5^2} = 0.945 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{fy}{0.85 \times f'c} = \frac{400}{0.85 \times 29} = 16,23$$

$$\rho_{pakai} = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn \times m}{fy}}\right)$$

$$= \frac{1}{16,23}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,945 \times 16,23}{400}}\right)$$

$$= 0,00241$$

$$\rho_{balance} = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 29 \times 0.85}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0.0314$$

$\rho_{max}$ = 0.75 x $\rho_{balance}$ = 0,75 x 0,0314
= 0,0236

$\rho_{min}$ = 0,0035

Syarat : $\rho_{min} < \rho_{analisa} < \rho_{max}$
0,0035 < 0.00241 < 0,0238

Jadi dipakai $\rho_{pakai}$ = 0,0035

Luas Tulangan :

As perlu = $\rho_{pakai}$ x 1000 x dy
= 0,0035 x 1000 x 1696,5
= 5934,25 $mm^2$

- *Penulangan terpasang :*
  Dipasang tulangan **<u>9D29 - 100 mm</u>** (5941,67 $mm^2$). Tulangan dipasang dengan dimensi dan jarak yang sama pada kedua arah X dan Y.

Kontrol Retak

- Berdasarkan PBI 1971 Pasal 10.7.1b retak yang diijinkan 0,01 cm. Dengan menggunakan tabel 10.7.1 PBI 1971 maka didapatkan:
  Koefisien untuk perhitungan lebar retak:
  $\omega_p = \frac{A}{Bt}$ ; $C_3$ = 1,50 ; $C_4$ = 0,16 dan $C_5$ = 30
  A=
  Bt=luas penampang beton yang tertarik= 180x160 $cm^2$
  maka $\omega_p = \frac{5941,67}{1800\ x\ 1600}$ = 0,002
  Besarnya lebar retak pada pembebanan tetap akibat beban kerja dihitung dengan rumus berikut:

$$w = \alpha\left(C_3 \,.\, c + C_4 \,.\, \frac{d}{\omega_p}\right)\left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega_p}\right)10^{-6} \quad (cm)$$

$$w = 1\left(1,50 \,.\, 8 + 0,16 \,.\, \frac{2,9}{0,002}\right)\left(1850 - \frac{30}{0,002}\right)10^{-6}(cm)$$

w = -0,003 < 0,01 cm …OK !

Kontrol Geser Pons Poer Tiang Pancang Breakwater

Dalam perencanaan poer harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang mengharus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang disyaratkan pada PBI 1971 pasal 11.9.2. Kuat geser pons yang terjadi pada poer adalah sebagai berikut :

$$\tau_{bp} = \frac{P}{\pi \cdot (c + ht) \cdot ht} \leq \tau_{bm}$$

Dimana :

P = gaya aksial plat dari tiang pancang

c = diameter tiang pancang
ht = tinggi total plat atau poer
$\tau_{bm}$ = tegangan ijin beton (0.65√σ'bk)
$\tau_{bp}$ = tegangan geser pons yang terjadi
Geser Pons yang terjadi pada poer :

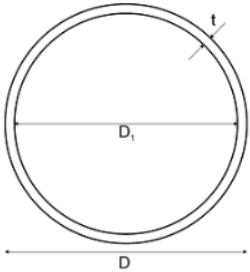
$$\tau_{bp} = \frac{53\,x10^3}{\pi \cdot (101{,}6 + 180) \cdot 180} \leq 0{,}65\sqrt{350}$$

0,33 kg/cm$^2$ < 12,16 kg/cm$^2$

Jadi ketebalan ukuran poer tiang pancang breakwater mampu menahan geser pons yang terjadi.

## 6.2 Data Spesifikasi Tiang Pancang

Perhitungan pada perencanaan breakwater ini, tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang baja yang memiliki panjang diameter sebesar 1016 mm dengan tebal 19 mm. Tingkat korosi diasumsikan = 0,3 mm/tahun, dengan tujuan perencanaan 10 tahun, tebal tiang yang digunakan adalah :19 - (0,3 x 10) = 16 mm. Mutu tiang pancang baja adalah BJ 55 (σijin = 4100 kg/cm2), sepatu tiang dengan cast steel point digunakan pada ujung sepatu tiang sebagai perlindungan. Perlindungan terhadap korosi pada tiang dilakukan dengan melapisi cat anti karat yang banyak mengandung seng (zinc-rich paint), disamping dilapisi juga dengan epoxy. Hasil pemodelan dengan program SAP 2000 menghasilkan gaya-gaya yang terjadi pada tiang pancang dibawah ini. Setelah mendapatkan data-data pada tabel kemudian dicari kedalaman untuk tiang pancang dari grafik antara daya dukung tiang dan kedalaman. Untuk tiang pancang miring juga direncanakan untuk memikul beban tarik sehingga yang diperhitungkan hanya daya lekat tiang saja (Qs).




**Gambar 6.10** Penampang Tiang Pancang

Dimensi Tiang (HYUNDAI HYSCO Steel Pipe) :

| | |
|---|---|
| Diameter (D) | : 1016 mm |
| Tebal (t) | : 19 mm |
| Luas (A) | : 595,1 $cm^2$ |
| Momen Inersia (I) | : 740000 $cm^4$ |
| Unit Weight | : 467 kg/m |
| Section Modulus (Z) | : 14600 $cm^3$ |
| Young modulus (E) | : 2100000 $kg/cm^4$ |
| Yield Strength (fy) | : 4100 $kg/cm^2$ (BJ 55, SNI 03-1729-2002) |
| Point of Fixity (Zf) | : 4,8 m |

## 6.3 Perhitungan Kebutuhan Kedalaman Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tanah memakai perumusan Luciano Decourt

$Q_L = Q_P + Q_S$

Dimana :

$Q_L$ = Daya dukung tanah maksimum pondasi

$Q_P$ = Resistance ultimate di dasar pondasi

$= \alpha \times (Np \times K) \times Ap$

→ Np = harga rata-rata SPT di sekitar 4B diatas dan dibawah dasar tiang pondasi

→ Harga K = Koefisien karakteristik tanah

Berdasar tabel data tanah diatas jadi

- Pasir = 40 t/m2
- Pasir Berlanau = 35 t/m2
- Pasir Berlempung = 30 t/m2
- Lempung Berpasir = 22 t/m2

$Q_S$ = Resistance ultimate akibat tekanan lateral
= β x (Ns/3 + 1) x As
→ Ns = harga rata-rata SPT sepanjang tiang pondasi terbenam
Dianalisis dengan diameter **Ø100 cm (1000 mm)**
Ap = luas penampang dasar tiang = ¼ x π x $D^2$ = 0,7854 $m^2$
As = keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)
= 3.1416 m x depth m

Dari hasil Dari hasil perhitungan analisa struktur menggunakan SAP 2000 didapatkan beban rencana pada tiang pancang. Nilai beban rencana tersebut dapat dilihat pada **Tabel 6.3.** Penentuan kedalaman tiang pancang disesuaikan dengan kebutuhan beban rencana.

**Tabel 6.1**. Output Gaya Dalam Tiang Pancang dari SAP 2000

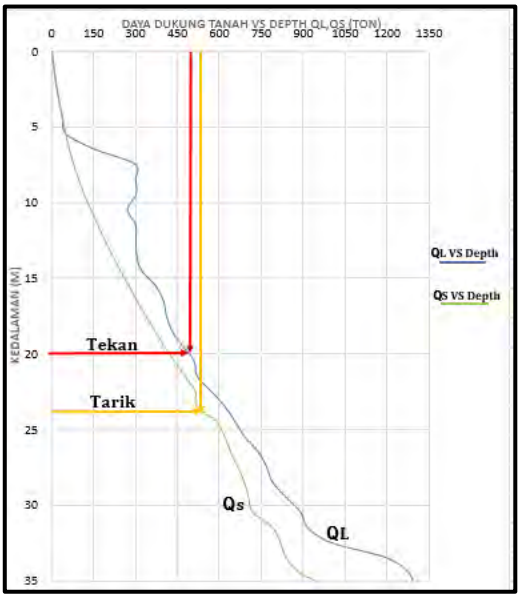
| Tipe beban | Kombinasi beban | Beban Rencana | |
|---|---|---|---|
| TIANG PANCANG TEGAK | | | |
| P (tekan) | 1D+1L+1Q | 155,7 | Ton |
| P (tarik) | 1D+1L+1Q | 172,2 | Ton |
| TIANG PANCANG MIRING | | | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| P (tekan) | 1D+1L+1Q | 305 | Ton |
| P (tarik) | 1D+1L+1Q | 46,395 | Ton |

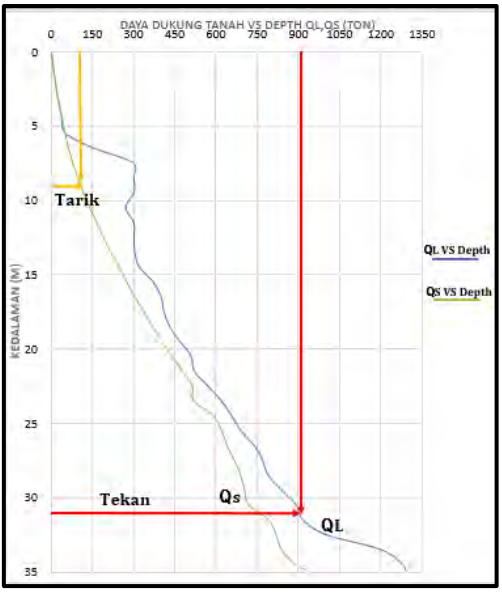
Hasil dari perhitungan SAP 2000 didapatkan hasil maksimum dari kombinasi beban terfaktor, dengan menggunakan SF = 3, maka bisa dicari untuk kedalaman tiang tegak dan miring yang diperlukan :

- Axial ForceT (tekan) = 156 x 3 = 468 Ton
- Axial ForceT (tarik) = 173 x 3 = 519 Ton
- Axial ForceM (tekan) = 306 x 3 = 918 Ton
- Axial ForceM (tarik) = 46,4 x 3 = 139,2 Ton

Dengan memplot ke kurva hubungan Ql dan Qs versus kedalaman yang ditampilkan




**Gambar 6.11.** Grafik DDT Tiang Pancang Tegak (Ø1016 mm)




**Gambar 6.12.** Grafik DDT Tiang Pancang Miring (Ø1016 mm)

**Tabel 6.2.** Analisa Kedalaman Tiang Pancang Terhadap Seabed

| Tiang pancang | Arah | Kedalaman (m) |
|---|---|---|
| Tegak | Tekan | 20 |
| | Tarik | 24 |
| Miring | Tekan | 31 |
| | Tarik | 9 |

## 6.4 Kedalaman Tiang Pancang

Dalam perencanaan struktur *breakwater monolith* ini digunakan kedalaman tiang yang tergantung dari daya dukung tanah dasar. Untuk tiang pancang tegak dengan gaya tekan 468 ton dan gaya tarik 519 ton maka dibutuhkan kedalaman tiang sekitar 24 meter. Sedangkan untuk tiang pancang miring

dengan gaya tekan 918 ton dan gaya tarik 139,2 ton maka dibutuhkan kedalaman tiang sekitar 31 meter dari seabed.

## 6.5 Kontrol Kekakuan Bahan Tiang Pancang

Asumsi kecepatan korosi = 0,3 mm/tahun. Korosi tiang diasumsikan terjadi sampai tiang ditumbuhi karang yaitu selama 10 tahun. Metode perawatan digunakan dengan menyediakan alokasi tebal tiang yang akan terkorosi yaitu setebal 3 mm.

Mu = fy x Z
= 4100 kg/cm$^2$ x 14600 cm$^3$
= 59860000 kg.cml
= 598,6 ton.m

Kontrol tiang pancang
Gaya dalam tiang pancang breakwater perlu dikontrol

- Kontrol momen M
  Mmax = 218,1 ton.m < Mu (OK)
- Kontrol gaya horizontal (Hu)
  Tiang pancang tidak hanya memikul beban vertikal tetapi juga beban horizontal. Sehingga pengecekan pada ketahanan tiang pancang terhadap beban horizontal perlu dilakukan. Gaya horizontal yang terjadi (hasil SAP 2000) harus lebih kecil dari gaya horizontal yang mampu dipikul bahan (Hu).
  Perhitungan daya dukung tiang terhadap beban lateral menggunakan cara Tomlinson dalam *"Daya DukungPondasi Dalam oleh Dr. Ir. Herman Wahyudi hal 55"* :

$$Hu = \frac{2Mu}{e + Zf} = \frac{2x306,6}{17 + 4,8} = 28,12\ ton$$

Hu yang terjadi
V2 = 11,59 ton < Hu (Ok)

V3 = 24,02 ton < Hu (Ok)

- Kontrol Tegangan

Tegangan yang terjadi akibat beban aksial (P) dan momen (M) pada tiang yang didapat dari analisa SAP 2000 harus lebih kecil dari tegangan ijin tiang pancang (fy). Tegangan pada tiang pancang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Kontrol tiang pancang tegak

$$\sigma \max = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{172232,3}{595,1} + \frac{1090727}{14600} \ /cm2$$

$= 364,1$ kg/cm$^2$

$\sigma$max = 364,1 kg/cm$^2$ < $\sigma$ijin = 4100 kg/cm$^2$

- Kontrol tiang pancang miring

- Kontrol momen

Mmax =203,36 ton.m < $M_{ijin}$= 598,6 ton.m...(OK)

- Kontrol gaya horizontal (Hu)

Untuk tiang dengan ujung tetap (*fixed headed pile*).

$$Hu = \frac{2Mu}{(e+zf)} = \frac{2 \cdot 203,36}{(17+4,8)} = 18,65\ ton$$

- Kontrol tegangan

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} + \frac{M}{Z} = \frac{305041}{595,1} + \frac{306600}{14600}$$

$$= 301,4 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{max}$ = 301,4 kg/cm$^2$< $\sigma_{ijin}$=4100 kg/cm$^2$ .... (OK)

## 6.6 Perhitungan Kalendering

Perumusan kalendering yang dipakai adalah *Alfred Hiley formula (1930).*

$$Q_u = \frac{\propto \cdot W \cdot H}{S + 0.5 \cdot C} \cdot \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p}$$

Karena perhitungan dilakukan sebelum pemancangan, maka yang dihitung adalah nilai S atau penetrasi/blow, yaitu pengamatan yang dilakukan rata-rata di tiga set terakhir, dengan 10 pukulan tiap setnya. Dan disyaratkan apabila untuk kedalaman yang sama S>S', maka pemancangan dihentikan. Dimana :

S = nilai penetrasi/blow rencana dari perhitungan
S'= nilai penetrasi/blow saat pemancangan

### 6.6.1 Kalendering Tiang Pancang Tegak

Data asumsi awal perhitungan kalendering adalah :

$H_{hammer}$ = 2 m (*hydraulic hammer*)
$Ø_{tiang}$ = 1016 mm
t = 2 cm
SF = 3
P = 173 t
Qu = 3 x 173 = 519 ton
W = 10 ton (*hydraulic hammer*)
α = 2.5 (*hydraulic hammer*)
Panjang tiang tegak yang dibutuhkan(L) = 44 m.

Wp = $0.25\pi\ (D^2-D_1^2) x\ L_{tiang}\ x\ \gamma_{tiang}$
= $0.25\pi\ (110,6^2-1,9^2) x\ 4400\ x\ 0,467x10^{-6}$
= 19,735 t
n = 0.32 (untuk *compact wood cushion on steel pile)*
S =set/pile penetration for last blow(*cm or mm.blow*)
$C_1$ =5mm (untuk *hard cusgion+packing*)
$C_2$ =10 mm (untuk *steel pile*)

$C_3$ =1 mm (*hard ground SPT*)
C = $C_1 + C_2 + C_3$
= 5 + 10 + 1 = 16mm = 0.016 m

$$519 = \frac{2.5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0.5 \cdot 0.016} \cdot \frac{10 + 0.32^2 \cdot 19{,}735}{10 + 19{,}735}$$

$$519 = \frac{50}{S + 0.5 \cdot 0.016} \cdot 0.404$$

$$519\ (S + 0.5 \cdot 0.016) = 20{,}2$$

$$S = 0.03m = 30\ mm$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang tegak adalah 30 mm atau 3 cm.

### 6.6.2 Kalendering Tiang Pancang Miring

Data asumsi awal perhitungan kalendering adalah :
$H_{hammer}$ = 2 m (*hydraulic hammer*)
$Ø_{tiang}$ = 1016 mm
t = 2 cm
SF = 3
P = 306 t
Qu = 3 x 306 = 918 ton
W = 10 ton (*hydraulic hammer*)
α = 2.5 (*hydraulic hammer*)
Panjang tiang pancang miring yang dibutuhkan :
L =44m x cos15° = 45 meter
Wp $=0.25\pi\ (D^2-D_1{}^2) \times L_{tiang} \times \gamma_{tiang}$
$=0.25\pi\ (110{,}6^2-1{,}9^2) \times 4550 \times 0{,}467 \times 10^{-6}$
=20,408 t
N =0.32(untuk *compact wood cushion on steel pile)*
S =set/pile penetration for last blow(*cm or mm.blow*)
$C_1$ =5mm (untuk *hard cusgion+packing*)
$C_2$ =10 mm (untuk *steel pile*)

$C_3$ =1 mm (*hard ground SPT*)

C = $C_1 + C_2 + C_3$

= 5 + 10 + 1 = 16mm = 0.016 m

$$918 = \frac{2.5 \cdot 10 \cdot 2}{S + 0.5 \cdot 0.016} \cdot \frac{10 + 0.32^2 \cdot 20{,}408}{10 + 20{,}408}$$

$$918 = \frac{50}{S + 0.5 \cdot 0.016} \cdot 0.4$$

$$918\ (S + 0.5 \cdot 0.016) = 20$$

$$S = 0.01379m = 13{,}79\ mm \approx 14 \text{ mm}$$

Jadi setting kalendering yang digunakan untuk tiang pancang tegak adalah 14 mm atau 1,4 cm.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB VII
# METODE PELAKSANAAN

## 7.1. Umum

Pada bab – bab sebelumnya telah dilakukan perhitungan berbagi aspek seperti analisa gelombang, layout, dan struktur. Hasil dari perhitungan tersebut, pada Bab 7, akan menjadi dasar perencanaan breakwater sebagai pelindung dermaga penyeberangan Waikelo di Kabupaten Sumba Barat Daya – Nusa Tenggara Timur (NTT) dari gelombang tinggi.

Panjang keseluruhan dari Konstruksi *breakwater* di pelabuhan penyeberangan kapal ferry ini adalah 149 m dengan tipe monolith yaitu terdiri dari susunan tiang pancang tegak dan tiang pancang miring pada kedalaman sekitar -20 mLWS. Dengan jumlah tiang pancang tegak 71 buah dan tiang pancang miring 28 buah.

Metode pelaksanaan perencanaan *breakwater* ini meliputi beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut :

- Pekerjaan persiapan
- Pekerjaan Struktur Breakwater Monolith
    - Pekerjaan pemancangan
    - Pekerjaan pengecoran poer

## 7.2. Pekerjaan Persiapan

Waktu prakonstruksi dalam suatu proyek merupakan pekerjaan persiapan sebelum memasuki tahap pekerjaan struktur. Dalam tahapan ini, umumnya pekerjaan yang dilakukan adalah persiapan pelaksanaan, baik persiapan untuk wilayah laut maupun wilayah darat. Secara detail pekerjaan yang dilakukan dalam masa prakonstruksi ini meliputi :

- Pembersihan lahan, yakni sterilisasi atau pembersihan lahan proyek dan lahan sekitarnya agar bebas dari hal-

hal yang akan mengganggu jalannya proyek secara keseluruhan pra dan pasca konstruksi.

- Direksi kit, berfungsi sebagai tempat untuk keperluan *official*, seperti kantor untuk kontraktor dan pengawas, tempat untuk rapat antar organisasi yang terkait.
- Pos jaga, berfungsi sebagai tempat pengawasan alat dan material yang akan digunakan pada saat kontruksi dilaksanakan.
- Gudang penyimpanan atau *storage*, berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan atau material yang akan dipakai pada saat konstruksi.
- Pengadaan material konstruksi, seperti semen, pasir, batu dan sebagainya.
- Mobilisasi alat berat seperti :
  - *Dump truck* untuk mengangkut material ke lokasi konstruksi.
  - *Mobile crane* untuk pemasangan dan pengangkutan komponen material.
  - dan alat berat lainnya.

## 7.3. Pekerjaan Konstruksi Breakwater Monolith

### 7.3.1. Pelapisan Tiang Pancang Menggunakan Pelapis Anti Karat

Struktur *breakwater* merupakan struktur yang dibangun di atas laut, sehingga memerlukan perlakuan khusus dalam pemeliharaan. Laju korosi akibat kondisi lingkungan dan salinitas yang tinggi perlu dicegah dan dikendalikan. Oleh karena itu coating system merupakan sistem proteksi yang dipakai pada pipa pancang. Metode ini dilakukan langsung dilapangan sebelum di pancang untuk menghasilkan kualitas coating yang optimal sesuai dengan perencanaan.

**Gambar 7.1.** Proses Coating Tiang Pancang

Hal penting yang harus diperhatikan adalah stok tiang pancang pipa baja yang sudah di-coating harus dikontrol kondisinya sesuai kebutuhan untuk menjaga kontinuitas pekerjaan pemancangan. Berikutnya adalah stok pipa di lapangan dipindahkan ke tepi pantai sesuai dengan kebutuhan dalam proses pemindahan, peralatan harus sudah siap di lapangan. Peralatan yang digunakan adalah crane service 25 ton dan truk trailer yang posisi letaknya ditentukan dan dikontrol oleh teropong theodolite.

**Gambar 7.2.** Pengadaan/Penumpukan Tiang Pancang

### 7.3.2. Pemancangan

Proses pemancangan tiang pancang baja dilakukan secara bertahap di lapangan dengan tujuan agar proses penggunaan alat pun dapat lebih efisien. Pemancangan breakwater ini pada kedalaman -20 mLWS. Peralatan yang digunakan pada tahapan ini yaitu :

- 1crane
- 2buah pontoon
- 3 buah Teodolit atau Waterpas
- 1Hydrolicl Hammer

**Gambar 7.3.** Peralatan Pancang (*Hydrolic Hammer*)

Dalam pekerjaan pemancangan, tiang pancang yang dipakai berupa steel pile, dimana panjang tiang yang dibutuhkan 44 m (4 batang, @12m). Pemancangan dilakukan dengan 2 ponton, dimana 1 ponton berfungsi untuk mengambil tiang pancang dari area penumpukan ke pontoon pancang dan yang kedua berfungsi sebagai diesel hammer untung pancang. Alat theodolit digunakan untuk mengukur ketepatan posisi dan kemiringan tiang saat pemancangan.(**Gambar** 7.5)

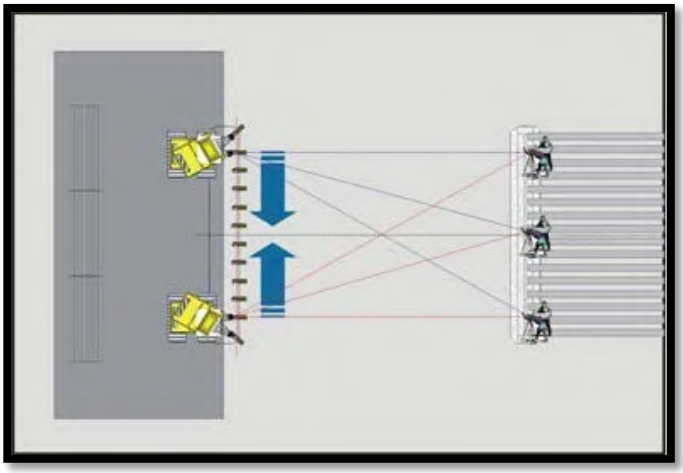
Penumpukan tiang pancang yang akan digunakan dapat ditempatkan di dekat pantai tetapi pengambilannya dilakukan pada saat pasang sehingga saat pengambilan sebaiknya diambil tiang pancang minimal untuk

pekerjaan 1 hari, sehingga pemancangan dapat bekerja secara kontinyu tanpa terhambat akan ketersediaan tiang pancang. (Gambar 7.2).

Pada saat pemancangan, langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan yaitu dengan bantuan alat teodolit, ponton pancang diarahkan ke titik yang dituju agar ketepatan titiknya terlaksana serta untuk memastikan kelurusan ataupun kemiringan tiang. Setelah semuanya sesuai, tali pengikat tiang pada hammer hydraulic dikendorkan sehingga tiang pancang akan turun sampai seabed dan diukur kembali ketepatan lokasinya dengan teodolit. Apabila telah tepat pada titik yang dituju, proses pemancangan dimulai sampai dengan kedalaman yang dituju. Panjang tiang pancang yang ada tidak sepanjang dengan kebutuhan sehingga dilakukan proses penyambungan menggunakan proses pengelasan. Untuk kepastian pemberhentian pemancangan, pada ¼ tiang terakhir dilakukan kalendering, apabila $S_{rencana} > S_{lapangan,}$ pemancangan dapat diberhentikan. Langkah-langkah ini dilakukan sampai dengan semua tiang pancang dapat terpancang pada posisinya dengan tepat.

**Gambar 7.4.** Proses Pengangkutan Tiang Pancang

**Gambar 7.5.** Mengukur Ketepatan Pemancangan menggunakan Teodolit



**Gambar 7.6.** Posisi Theodolit pada saat konstruksi pemancangan tiang.

**Gambar 7.7** – Proses Pemancangan Tiang Pancang

**Gambar 7.8** Penyambungan tiang pancang dengan las

Setelah beberapa tiang pancang selesai dipancang, tiang pancang yang panjangnya berlebih harus dipotong dengan menggunakan hammer ban sampai pada elevasi tiang yang direncanakan. Selanjutnya setelah proses pemotongan tiang pancang yang berlebih telah selesai, dilanjutkan dengan pekerjaan poer dan pemasangan pelat.

*Kalendering*

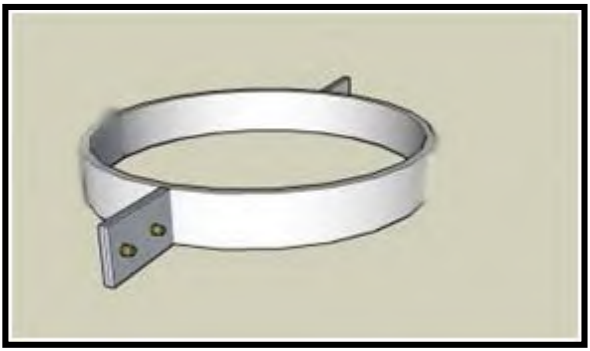
Tes ini wajib dilaksanakan pada setiap titik pemancangan tiang pancang dengan jalan membuat grafik dari 30 kali pemukulan terakhir dengan hammer. Proses pelaksanaannya dengan menempelkan kertas millimeter block pada tiang pancang yang akan diuji dan telah selesai dipancang Kemudian dilakukan pemukulan tiang pancang sebanyak sepuluh kali, setiap pemukulan akan dibuat grafik dengan menggunakan pensil yang digoreskan pada kertas millimeter block dengan bantuan mistar atau kayu (**Gambar** 7.9). Dari grafik yang telah diperoleh tersebut akan diperoleh data Set yang diperlukan untuk mendapatkan daya dukung ultimate dari tiang pancang tersebut.

**Gambar 7.9.** Pengecekan Kalendering

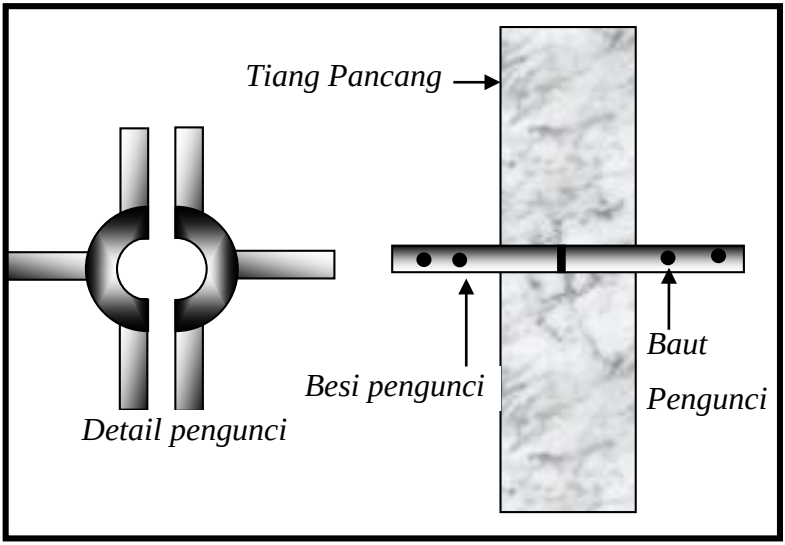
### 7.3.3 Pengecoran Poer atau Pile Cap

Dalam proses pengecoran Pile cap (poer) ini ada beberapa tahap, yaitu :

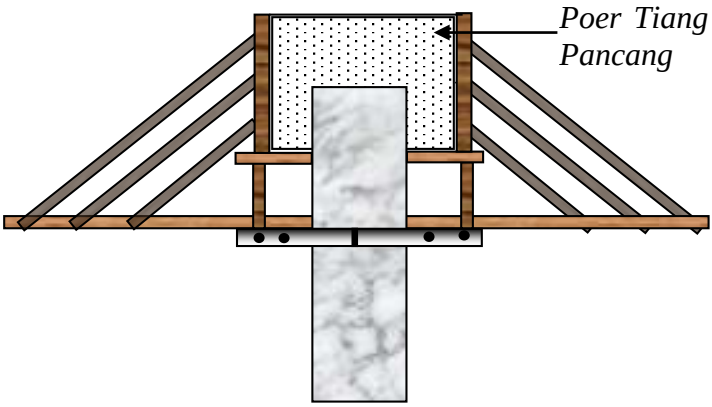
1) Langkah paling awal adalah memasang landasan untuk bekisting berupa klem besi yang dibaut dan dipasang pada tiang pancang sebelum pemasangan bekisting poer.
2) Setelah klem tersebut terpasang kemudian dipasang balok kayu yang menghubungkan antara tiang satu dengan lainnya baik arah memanjang maupun melintang sebagai landasan.
3) Proses selanjutnya adalah perakitan bekisting poer langsung diatas landasan yang telah ada sesuai dengan ukurannya. Kayu perancah digunakan untuk menopang bagian vertikal dari bekisting poer ke balok yang menghubungankan antar tiang pancang.
4) Pada akhir proses bekisting poer selesai , selanjutnya dipasang tulangan beton pengisi tiang dan tulangan poer. Pengecoran dilakukan sekaligus sehingga antara beton pengisi tiang dan poer monolit dapat menyatu dengan baik.



**Gambar 7.10**. Landasan Bekisting Poer




**Gambar 7.11.** Bekisting Pile Cap




**Gambar 7.12.** Potongan Bekisting Pile Cap

Perlu diperhatikan bahwa pengecoran harus dilakukan secara menerus dan hanya boleh berhenti di tempat-tempat yang dianggap aman dan telah direncanakan sebelumnya. Apabila pengecoran dihentikan, dan kemudian akan disambung lagi, maka pengecoran sebelumnya harus dibersihkan permukaannya dan dibuat kasar dengan sikat baja agar hasil pengecoran yang baru bisa melekat sempurna dengan permukaan yang lama. Sebelum pengecoran yang baru dilakukan, permukaan yang akan disambung harus disiram dengan air semen 1 PC : 0,45 air, setelah itu permukaan sambungan dilapisi dengan lem beton dan dicor kembali.

,Beton harus dilindungi Selama waktu pengerasan dengan air bersih atau ditutup dengan karung basah terus menerus selama paling tidak 10 hari setelah pengecoran. Berdasarkan peraturan yang terdapat pada PBI 1971, Pembongkaran bekisting beton tidak boleh dilakukan sebelum waktu pengerasan dan pembongkarannya dilakukan hati-hati agar jangan sampai merusak beton yang sudah mengeras akibat tertarik oleh bekisting.

**Gambar 7.12.** Pembesian Tiang Pancang

**Gambar 7.13.** Pengecoran pilecap

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB VIII
# RENCANA ANGGARAN BIAYA

## 8.1. Umum

Dalam bab 8 ini, akan dibahas mengenai rincian biaya pelaksanaan pekerjaan Proyek pembangunan breakwater untuk perlindungan pelabuhan penyeberangan Ferry di perairan Waikelo, Kabupaten Sumba Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang besarnya berdasarkan pada kebutuhan yang telah direncanakan pada bab-bab sebelumnya.

Pada perencanaan anggaran biaya ini terdapat dua langkah utama yang menjadi dasar analisa perhitungan, yaitu:

- Pekerjaan persiapan
- Pekerjaan Struktur Breakwater Monolith

## 8.2. Harga Material dan Upah

Harga material dan upah diambil dari **Peraturan Menteri Perhubungan RI No.75 Tahun 2013 Tentang Standar Biaya Tahun 2014 Di Lingkungan Kementerian Perhubungan”**. Berikut ini merupakan rincian daftar harga material (**Tabel 8.1.**) , daftar harga upah pekerja (**Tabel 8.2.**) dan daftar harga sewa peralatan (**Tabel 8.3.**) yang akan menjadi acuan total keseluruhan biaya konstruksi.

**Tabel 8.1.** Daftar Harga Material dan Peralatan

| No. | Jenis Peralatan | Satuan | Harga |
|---|---|---|---|
| **A.** | **Semen, Ready Mix** | | |
| 1 | Semen portland | sak | Rp56,727.12 |
| 2 | Beton ready mix K350 | m3 | Rp671,270.92 |
| | | | |
| **B.** | **Bahan dan Material Alam** | | |
| 1 | Pasir cor | m3 | Rp145,235.56 |
| 2 | Sirtu | m3 | Rp183,479.54 |
| 3 | Batu pecah | m3 | Rp260,282.94 |
| 4 | Kawat bendrat | kg | Rp18,618.34 |
| 5 | Besi tulangan D29 mm | btg | Rp881,539.44 |
| 6 | Besi tulangan D29 mm | kg | Rp14,181.78 |
| 7 | Papan plywood 12 mm | lembar | Rp242,823.27 |
| 8 | Kayu bekisting | m3 | Rp2,836,356.00 |
| 9 | Paku | kg | Rp20,400.00 |
| 10 | Wooden plank kelas I | m3 | Rp2,500,000.00 |
| **C.** | **Profil Baja** | | |
| 1 | Steel pile D =1016 mm, t =19 mm | kg | Rp15,000.00 |
| 2 | Profil hollow 273 | m' | Rp5,250,000.00 |
| 3 | Profil hollow 88,9 | m' | Rp3,000,000.00 |
| 4 | Trasisional slab | m3 | Rp2,500,000.00 |
| **D.** | **Lain-lain** | | |
| 1 | Oli | liter | Rp31,108.91 |
| 2 | Solar | liter | Rp9,074.57 |
| 3 | Percobaan pembebanan tiang pancang | unit | Rp11,500,000.00 |
| 4 | Tes beton di laboratorium | Ls | Rp2,000,000.00 |
| 5 | Pile loading trials | unit | Rp12,000,000.00 |
| 6 | Proteksi joint densopol 60 HT tape | roll | Rp600,000.00 |
| 7 | Denso primer D | liter | Rp251,450.00 |
| 8 | Denso CPT 1000 PVC tape | roll | Rp251,450.00 |
| 9 | Welding | cm | Rp17,192.21 |
| 10 | Peralatan las dan genset | jam | Rp170,000.00 |
| 11 | Grease | liter | Rp74,900.00 |
| 12 | Lubricant | liter | Rp120,000.00 |
| 13 | Mesin las | jam | Rp10,700,000.00 |
| 14 | Profil C 75 x 45 x 2.3 | kg | Rp12,134.48 |
| 15 | Pelat cincin baja | kg | Rp8,000.00 |
| 16 | Kawat las | kg | Rp23,636.30 |

**Tabel 8.2**. Daftar Harga Upah Pekerja

| No. | Jenis Pekerja | Satuan | Harga satuan |
|---|---|---|---|
| 1 | Mandor | org/hari | Rp109,555.80 |
| 2 | Pekerja | org/hari | Rp71,407.25 |
| 3 | Kepala tukang | org/hari | Rp96,839.03 |
| 4 | Tukang | org/hari | Rp84,100.16 |
| 5 | Operator | org/hari | Rp84,113.42 |
| 6 | Pembantu operator | org/hari | Rp50,581.68 |
| 7 | Sopir | org/hari | Rp78,609.47 |
| 8 | Penyelam | org/hari | Rp70,000.00 |
| 9 | Tukang las | org/hari | Rp84,111.65 |
| 10 | Penjaga malam | org/hari | Rp50,581.68 |

**Tabel 8.3**. Daftar Harga Sewa Alat

| No. | Jenis Peralatan | Satuan | Harga |
|---|---|---|---|
| 1 | Ponton kapasitas 180 ft | jam | Rp375,000.00 |
| 2 | Flat back truck 3.5 Ton | jam | Rp316,820.97 |
| 3 | Achor boat | jam | Rp300,000.00 |
| 4 | Work boat | jam | Rp60,000.00 |
| 5 | Generator 25 kV A | jam | Rp189,090.40 |
| 6 | Mobile Crane 75 ton | jam | Rp686,492.70 |
| 7 | Concrete vibrator | jam | Rp129,999.65 |
| 8 | Concrete pump | jam | Rp17,703.59 |
| 9 | Concrete mixer | jam | Rp126,454.21 |
| 10 | Pile driver barge + hammer | jam | Rp935,241.12 |
| 11 | Crawler crane | jam | Rp355,679.04 |
| 12 | Mesin las | jam | Rp202,326.73 |
| 13 | Kapal Keruk *Clamshell* | jam | Rp400,000.00 |
| 14 | Tug Boat dan Barge (Tongkang) | jam | Rp750,000.00 |

## 8.3. Analisis Harga Satuan

Perincian harga satuan konstruksi breakwater dapat dilihat pada tabel berikut (**Tabel 8.4**) :

**Tabel 8.4** – Daftar Analisa Harga Satuan

| No. | Jenis Pekerjaan | Volume | Satuan | Harga satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **1 m3 beton K-350** | | | | |
| | **Bahan** | | | | |
| | Beton ready mix K-350 | 1 | m3 | Rp671,270.92 | Rp671,270.92 |
| | **Alat** | | | | |
| | Concrete pump | 0.4 | jam | Rp17,703.59 | Rp7,081.44 |
| | Vibrator | 0.7 | jam | Rp129,999.65 | Rp90,999.76 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.3 | org/hari | Rp109,555.80 | Rp32,866.74 |
| | Pekerja | 5 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp357,036.25 |
| | Kepala tukang | 0.2 | org/hari | Rp96,839.03 | Rp19,367.81 |
| | Tukang | 1 | org/hari | Rp84,100.16 | Rp84,100.16 |
| | **Biaya 1 m3 beton** | | | | **Rp1,262,723.07** |
| 2 | **10 m2 Bekisting** | | | | |
| | **Bahan** | | | | |
| | Kayu bekisting | 0.5 | m3 | Rp2,836,356.00 | Rp1,418,178.00 |
| | Paku | 3.7 | kg | Rp20,400.00 | Rp75,480.00 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.1 | org/hari | Rp109,555.80 | Rp10,955.58 |
| | Pekerja | 6 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp428,443.50 |
| | Kepala tukang | 0.6 | org/hari | Rp96,839.03 | Rp58,103.42 |
| | Tukang kayu | 4 | org/hari | Rp84,100.16 | Rp336,400.66 |
| | **Biaya 10 m2 bekisting** | | | | Rp2,327,561.16 |
| | **Biaya 1 m2 bekisting** | | | | **Rp232,756.12** |
| 3 | **100 kg pembesian** | | | | |
| | **Bahan** | | | | |
| | Besi tulangan | 100 | kg | Rp14,181.78 | Rp1,418,178.00 |
| | Kawat bendrat | 3 | kg | Rp18,618.34 | Rp55,855.01 |
| | **Upah** | | | | |
| | Pekerja | 6.7 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp478,428.58 |
| | Tukang besi | 6.7 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp478,428.58 |
| | Kepala tukang | 6.7 | org/hari | Rp96,839.03 | Rp648,821.47 |
| | **Biaya 100 kg pembesian** | | | | Rp3,079,711.63 |
| | **Biaya 1 kg pembesian** | | | | **Rp307,971.16** |

Lanjutan :

| No. | Jenis Pekerjaan | Volume | Satuan | Harga satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | **Perancah (Klem)** | | | | |
| | **Bahan** | | | | |
| | Profil C 75 x 45 x 2.3 | 5.92 | kg | Rp12,134.48 | Rp71,836.11 |
| | Pelat cincin baja | 39.92 | kg | Rp8,000.00 | Rp319,360.00 |
| | Kawat Las | 0.27 | kg | Rp23,636.30 | Rp6,381.80 |
| | **Alat** | | | | |
| | Mesin las | 0.005 | hari | Rp202,326.73 | Rp1,011.63 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.1 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp7,140.73 |
| | Pekerja | 0.001 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp71.41 |
| | Kepala tukang | 2 | org/hari | Rp96,839.03 | Rp193,678.05 |
| | **Biaya perancah** | | | | **Rp599,479.73** |
| 5 | **1 m3 Beton Bertulang** | | | | |
| | **Poer, balok, pelat** | | | | |
| | Beton | 1 | m3 | Rp671,270.92 | Rp671,270.92 |
| | Besi Beton | 75.4 | kg | Rp14,181.78 | Rp1,069,306.21 |
| | Bekisting | 5 | m2 | Rp2,836,356.00 | Rp14,181,780.00 |
| | Peralatan | 1 | set | Rp126,454.21 | Rp126,454.21 |
| | Perancah | 1 | buah | Rp440,000.00 | Rp440,000.00 |
| | **Biaya poer** | | | | **Rp16,488,811.34** |
| | **Pengisi Tiang Pancang** | | | | |
| | Beton | 1 | m3 | Rp671,270.92 | Rp671,270.92 |
| | Besi beton | 289.3 | kg | Rp14,181.78 | Rp4,102,788.95 |
| | Peralatan | 1 | set | Rp126,454.21 | Rp126,454.21 |
| | **Biaya isian tiang pancang** | | | | **Rp4,900,514.08** |
| 6 | **Pemancangan Tiang** | | | | |
| | **Alat** | | | | |
| | Ponton kapasitas 1000 ton | 9 | jam | Rp375,000.00 | Rp3,375,000.00 |
| | Anchor boat | 9 | jam | Rp300,000.00 | Rp2,700,000.00 |
| | Work boat | 9 | jam | Rp60,000.00 | Rp540,000.00 |
| | Generator 75 kV A | 9 | jam | Rp189,090.40 | Rp1,701,813.60 |
| | Alat bantu | 1 | set | Rp935,241.12 | Rp935,241.12 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 1 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp71,407.25 |
| | Pekerja | 8 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp571,258.00 |
| | Operator | 6 | org/hari | Rp84,113.42 | Rp504,680.51 |
| | Pembantu operator | 6 | org/hari | Rp50,581.68 | Rp303,490.09 |
| | Penyelam | 3 | org/hari | Rp70,000.00 | Rp210,000.00 |
| | Jumlah pemancangan per hari | | | | 10 |
| | **Biaya Pemancangan tiang / unit** | | | | **Rp1,091,289.06** |

Lanjutan :

| No. | Jenis Pekerjaan | Volume | Satuan | Harga satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | **Penyambungan Tiang Pancang** | | | | |
| | **Alat** | | | | |
| | Alat bantu | 1 | set | Rp200,000.00 | Rp200,000.00 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.45 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp32,133.26 |
| | Pekerja | 6 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp428,443.50 |
| | Tukang las | 2 | org/hari | Rp84,111.65 | Rp168,223.30 |
| | **Biaya penyambungan tiang pancang** | | | | **Rp828,800.07** |
| 8 | **Pemotongan Tiang Pancang** | | | | |
| | **Alat** | | | | |
| | Alat bantu | 1 | set | Rp200,000.00 | Rp200,000.00 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.13 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp9,282.94 |
| | Pekerja | 2.83 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp202,082.52 |
| | Tukang las | 0.83 | org/hari | Rp84,111.65 | Rp69,812.67 |
| | **Biaya pemotongan tiang pancang** | | | | **Rp481,178.13** |
| 9 | **Pengangkatan Tiang Pancang** | | | | |
| | **Alat** | | | | |
| | Mobile Crane | 1.6 | hari | Rp355,679.04 | Rp569,086.47 |
| | Ponton kapasitas 1000 ton | 4 | hari | Rp375,000.00 | Rp1,500,000.00 |
| | Anchor boat | 1.6 | hari | Rp300,000.00 | Rp480,000.00 |
| | Work boat | 0.8 | hari | Rp60,000.00 | Rp48,000.00 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 1 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp71,407.25 |
| | Operator | 5 | org/hari | Rp84,113.42 | Rp420,567.09 |
| | Pembantu operator | 5 | org/hari | Rp50,581.68 | Rp252,908.41 |
| | Sopir | 3 | org/hari | Rp78,609.47 | Rp235,828.42 |
| | Jumlah Pengangkatan dalam 1 hari | | | | 10 |
| | **Biaya Pengangkatan Tiang Pancang / unit** | | | | **Rp357,779.76** |

Lanjutan :

| No. | Jenis Pekerjaan | Volume | Satuan | Harga satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| **10** | **Pembuatan 1 Buah Sepatu Tiang** | | | | |
| | Pelat baja | 100 | kg | Rp8,000.00 | Rp800,000.00 |
| | Peralatan | 1 | set | Rp202,326.73 | Rp202,326.73 |
| | **Upah** | | | | |
| | Mandor | 0.45 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp32,133.26 |
| | Pekerja | 1 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp71,407.25 |
| | Tukang las | 1 | org/hari | Rp84,111.65 | Rp84,111.65 |
| | **Biaya Pembuatan 1 Buah Sepatu Tiang** | | | | **Rp1,189,978.89** |
| **11** | **Pengecatan Perlindungan Korosi** | | | | |
| | **Bahan** | | | | |
| | Proteksi joint densopol 60 HT tape | 1 | roll | Rp600,000.00 | Rp600,000.00 |
| | Denso primer D | 0.5 | liter | Rp251,450.00 | Rp125,725.00 |
| | Denso CPT 1000 PVC tape | 1 | roll | Rp251,450.00 | Rp251,450.00 |
| | **Upah** | | | | |
| | Pekerja | 2 | org/hari | Rp71,407.25 | Rp142,814.50 |
| | **Biaya perlindungan korosi** | | | | **Rp1,119,989.50** |
| **12** | **Pengelasan Kerangka Baja** | | | | |
| | **Alat** | | | | |
| | Las | 1 | m | Rp600,000.00 | Rp600,000.00 |
| | Peralatan Las | 1 | unit | Rp202,326.73 | Rp202,326.73 |
| | **Upah** | | | | |
| | Tukang Las | 2 | org/hari | Rp84,111.65 | Rp168,223.30 |
| | **Biaya pengelasan kerangka baja** | | | | **Rp970,550.03** |

## 8.4. Rencana Anggaran Biaya

Setelah mengetahui daftar harga satuan dari peraturan, selanjutnya akan disajikan data rencana anggaran meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. Pekerjaan persiapan (**Tabel 8.5.**)
2. Pekerjaan Struktur Monolith (**Tabel 8.6.**)

Berikut ini merupakan perinciannya :

**Tabel 8.5.** RAB Pekerjaan Persiapan

| No. | Uraian | Volume | Satuan | Harga satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Pembersihan lahan | 1 | ls | Rp15,000,000.00 | Rp15,000,000.00 |
| 2 | Pengukuran dan pemasangan bouwplank | 1 | ls | Rp26,000,000.00 | Rp26,000,000.00 |
| 3 | Mobilisasi dan demobilisasi | 1 | ls | Rp440,000,000.00 | Rp440,000,000.00 |
| 4 | Administrasi dan dokumentasi | 1 | ls | Rp5,000,000.00 | Rp5,000,000.00 |
| 6 | Gudang | 1 | ls | Rp210,000,000.00 | Rp210,000,000.00 |
| 6 | Direksi keet | 1 | ls | Rp25,200,000.00 | Rp25,200,000.00 |
| | **Total** | | | | **Rp721,200,000.00** |

**Tabel 8.6.** RAB Pekerjaan Monolith Breakwater

| No | Uraian | Volume | Satuan | Harga Satuan | Jumlah |
|---|---|---|---|---|---|
| **I** | **Pekerjaan tiang Pancang Tegak** | | | | |
| 1 | Tiang Pancang tegak | 1458908 | kg | Rp15,000.00 | Rp21,883,620,000.00 |
| 2 | Pengangkatan tiang pancang | 71 | m | Rp357,779.76 | Rp25,402,363.26 |
| 3 | Pemancangan tiang pancang | 71 | m | Rp1,091,289.06 | Rp77,481,523.08 |
| 4 | Penyambungan tiang Pancang | 213 | titik | Rp828,800.07 | Rp176,534,414.37 |
| 5 | Pemotongan tiang | 71 | titik | Rp481,178.13 | Rp34,163,647.35 |
| 6 | Beton pengisi tiang pancang | 120 | m3 | Rp4,900,514.08 | Rp589,961,128.74 |
| 7 | Selimut Beton | 60 | m3 | Rp671,270.92 | Rp40,406,347.50 |
| 8 | Pembuatan Sepatu Tiang | 71 | buah | Rp1,189,978.89 | Rp84,488,501.35 |
| **II** | **Pekerjaan tiang Pancang Miring** | | | | |
| 1 | Tiang Pancang Miring | 653800 | kg | Rp15,000.00 | Rp9,807,000,000.00 |
| 2 | Pengangkatan tiang Miring | 1400 | m | Rp357,779.76 | Rp500,891,669.91 |
| 3 | Pemancangan tiang Miring | 1400 | m | Rp1,091,289.06 | Rp1,527,804,680.42 |
| 4 | Penyambungan tiang Miring | 112 | titik | Rp828,800.07 | Rp92,825,607.56 |
| 5 | Pemotongan tiang | 28 | titik | Rp481,178.13 | Rp13,472,987.69 |
| 6 | Beton pengisi tiang Miring | 47 | m3 | Rp4,900,514.08 | Rp232,660,726.83 |
| 7 | Selimut Beton | 24 | m3 | Rp671,270.92 | Rp15,934,897.61 |
| 8 | Pembuatan Sepatu Tiang | 28 | buah | Rp1,189,978.89 | Rp33,319,408.98 |
| **III** | **Pekerjaan Kepala Breakwater** | | | | |
| 1 | Tiang Pancang | 210150 | kg | Rp15,000.00 | Rp3,152,250,000.00 |
| 2 | Pengangkatan tiang pancang | 450 | m | Rp357,779.76 | Rp161,000,893.90 |
| 3 | Pemancangan tiang pancang | 450 | m | Rp1,091,289.06 | Rp491,080,075.85 |
| 4 | Penyambungan tiang pancang | 36 | titik | Rp828,800.07 | Rp29,836,802.43 |
| 5 | Pemotongan tiang pancang | 9 | titik | Rp481,178.13 | Rp4,330,603.19 |
| 6 | Beton pengisi tiang pancang | 15 | m3 | Rp4,900,514.08 | Rp74,783,805.05 |
| 7 | Selimut Beton | 9 | m3 | Rp671,270.92 | Rp6,041,438.28 |
| 8 | Pembuatan Sepatu Tiang pancang | 9 | buah | Rp1,189,978.89 | Rp10,709,810.03 |
| **III** | **POER** | 1801 | m3 | Rp16,488,811.34 | Rp32,067,605,176.31 |
| | **Total** | | | | **Rp71,133,606,509.68** |

Setelah mendapatkan hasil perincian baik harga sewa, upah, maupun material, maka didapatkan total rencana biaya proyek pembangunan breakwater untuk perlindungan pelabuhan penyeberangan Ferry di perairan Waikelo, Kabupaten Sumba Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah sebagai berikut (**Tabel 8.7.**) :

**Tabel 8.7.** Rekapitulasi Anggaran Biaya Total

| No. | Uraian | Total | |
|---|---|---|---|
| 1 | Pekerjaan persiapan | Rp | 721,200,000 |
| 3 | Pekerjaan Breakwater Monolith | Rp | 71,133,606,510 |
| Jumlah total | | Rp | 71,854,806,510 |
| PPn 10% | | Rp | 7,185,480,651 |
| Total + PPn | | Rp | 79,040,287,161 |
| Jumlah Akhir | | Rp | 86,225,767,812 |
| Jumlah Akhir (dibulatkan) | | **Rp** | **86,225,768,000** |
| Terbilang : *Delapan puluh enam miliar dua ratus dua puluh lima juta tujuh ratus enam puluh delapan ribu rupiah* | | | |

# BAB IX
# KESIMPULAN

## 9.1. Struktur *Breakwater*

### 9.1.1.Struktur *Breakwater* Monolith

a. Dari hasil perencanaan pada Bab VI, didapatkan hasil sebagai berikut :

- Breakwater Monolith dengan menggunakan kelompok Tiang Pancang berdiamater 1016 mm dengan tebal 19 mm (STK 41-JIS) pada kedalaman -20 mLWS.
- Poer menerus : 500 cm x 180cm x 160 cm
  Beton K-400 (fc =35 Mpa)
- Diameter tulangan Poer : D29-100 (fy = 400 Mpa)
- Elevasi puncak : +5.5 mLWS

b. Setelah melakukan pemodelan dengan menggunakan program SMS 10.1, struktur dengan spesifikasi butir (a) diatas dapat menahan gelombang secara efektif karena telah memperhitungkan gaya gempa dan gelombang periode 50 tahun dengan pendekatan kondisi lapangan.

c. Evaluasi dilakukan dengan layout baru yang direncanakan dengan posisi yang terletak 48 meter dari dermaga. Struktur terdiri dari satu segmen yang membentang dari arah barat daya dengan kedalaman -4mLWS ke arah timur laut sampai kedalaman –20 mLWS sepanjang 61,19 meter, kemudian membelok ke arah timur mengikuti kontur -20 mLWS sepanjang 88,50 meter. Layout tersebut efektif karena membuat kolam perairan tenang dengan ketinggian gelombang maximal yaitu 1,1 meter sehingga dapat bertambat dengan baik.

d. Pemodelan dengan menggunakan SMS 10.1 menunjukan bahwa breakwater sebelah timur tidak efektif karena dari hasil pemodelan menunjukan bahwa breakwater tersebut tidak menyebabkan penurunan

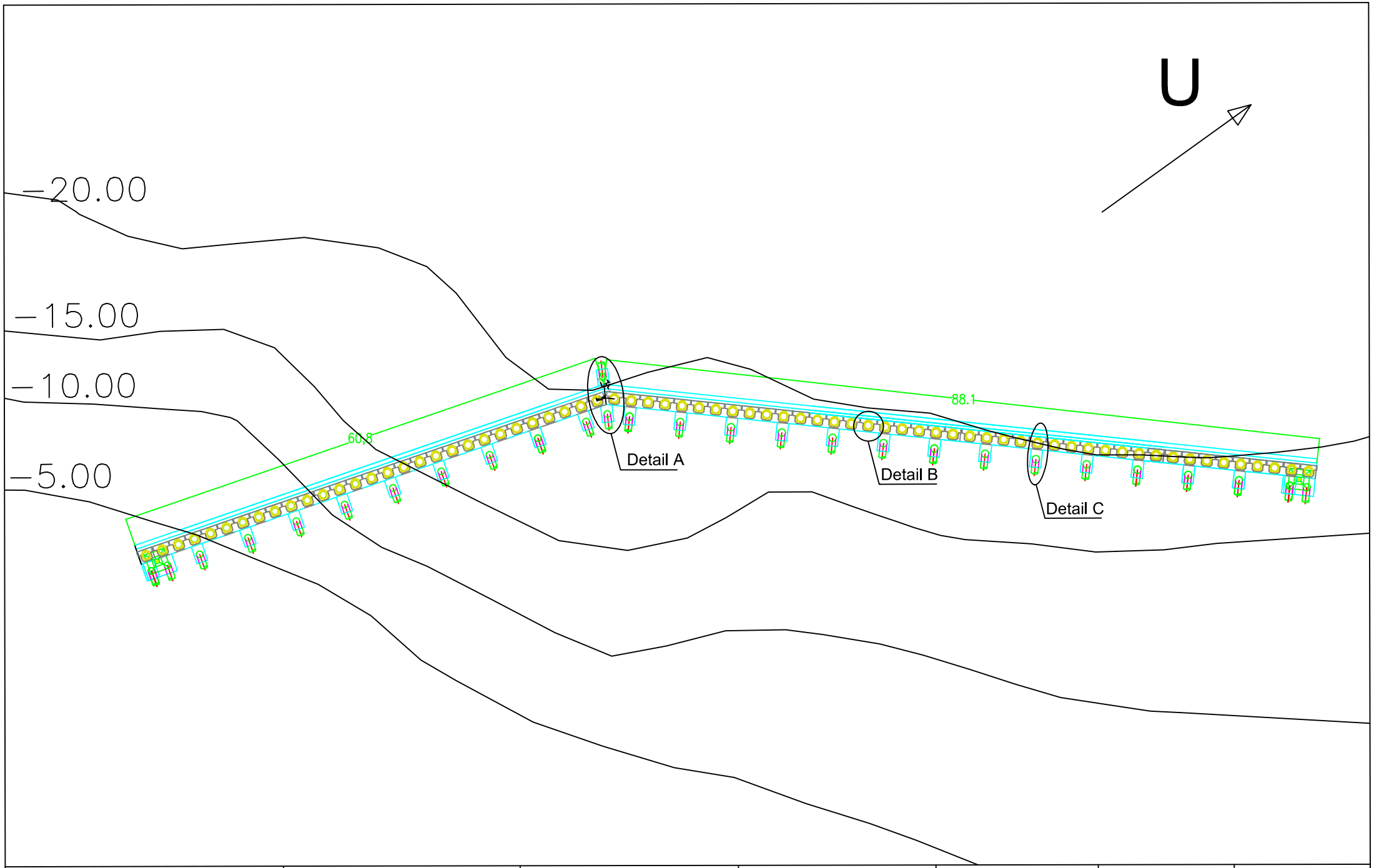
tinggi gelombang baik dari arah barat laut, utara, maupun timur laut.

## 9.2. Metode Pelaksanaan

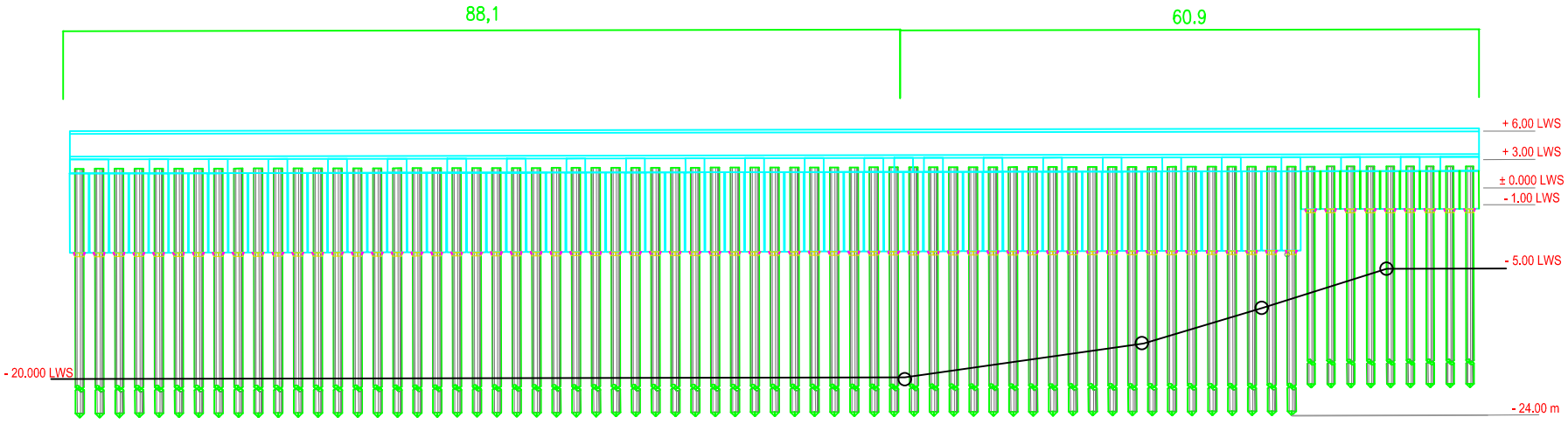
Struktur breakwater ini merupakan struktur lepas pantai sehingga secara keseluruhan Pekerjaan struktur dilakukan dari laut. Mobilisasi material menggunakan tongkang dan crane. Pada pekerjaan Struktur Monolith menggunakan Diesel hammer sebagai alat bantu pemancangan tiang pancang. Pembuatan poer tiang pancang dilakukan menggunakan *cast in situ* dengan beton *ready mix*.

## 9.3. Anggaran Biaya

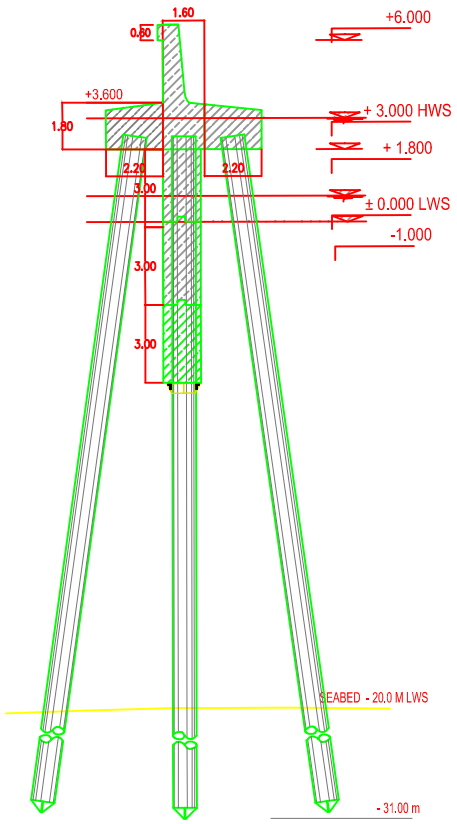
Perhitungan rencana anggaran biaya yang dilakukan pada bab VIII menghasilkan total biaya dari tahap persiapan hingga pembangunan struktur breakwater Waikelo dengan total biaya Rp. 86.225.768.000,00 *(Delapan puluh enam miliar dua ratus dua puluh lima juta tujuh ratus enam puluh delapan ribu rupiah)*



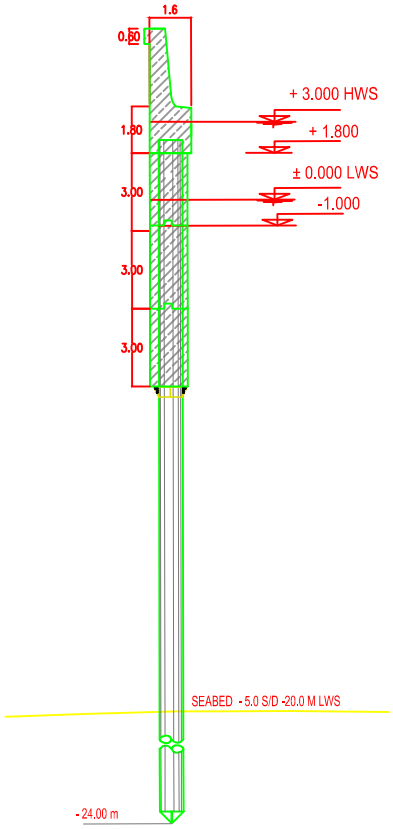

| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B.<br>3110100106 | Layout Breakwater | | 1 |



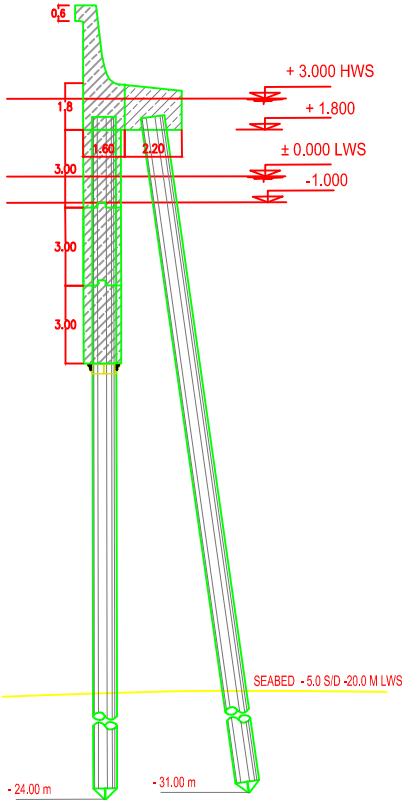

| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER<br>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN<br>JURUSAN TEKNIK SIPIL | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B.<br>3110100106 | Potongan Memanjang | | 2 |




Detail A

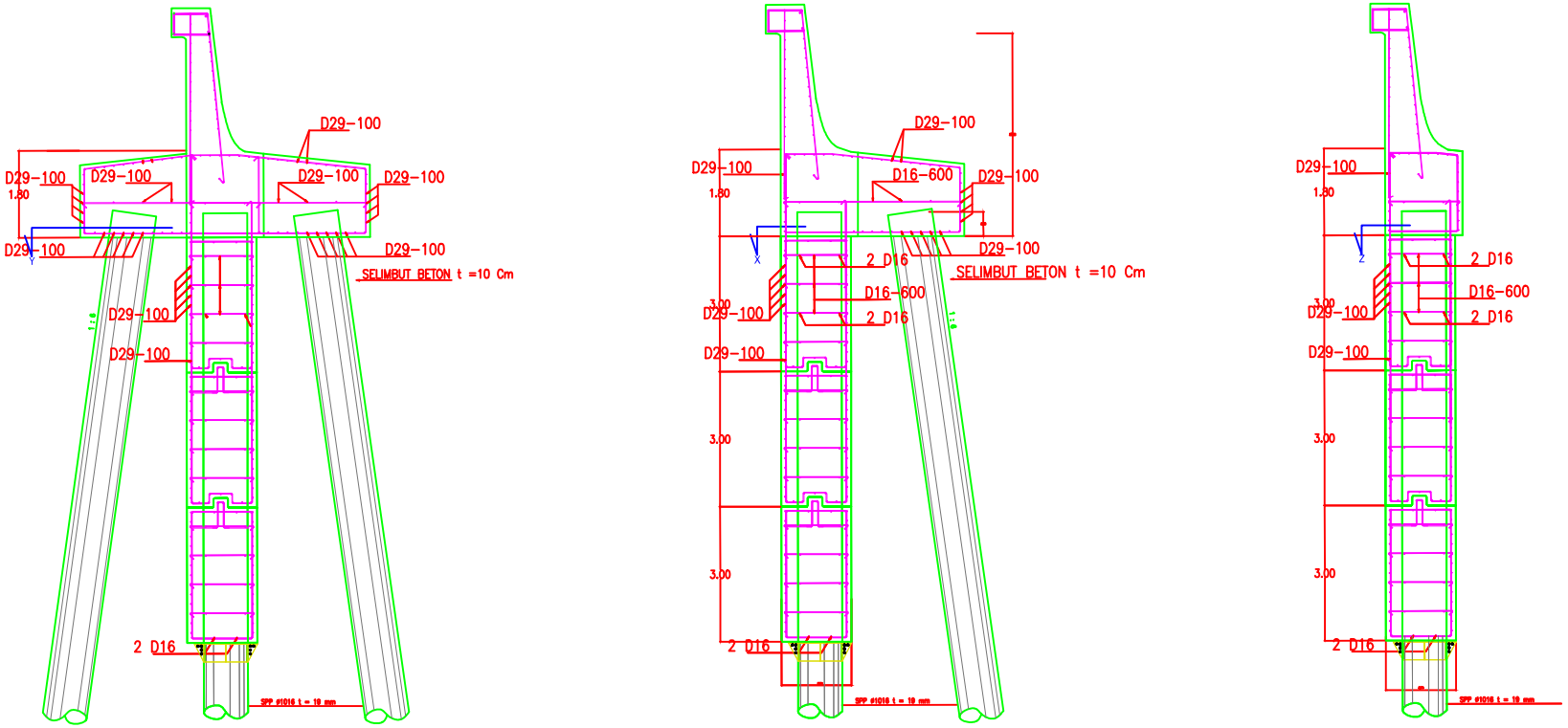



Detail B

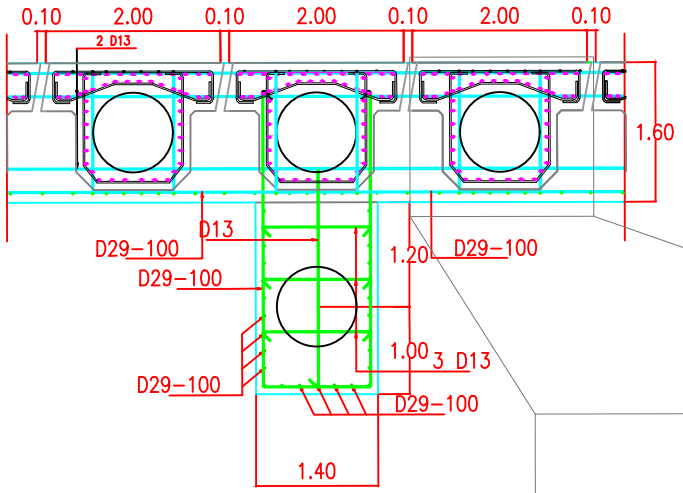



Detail C

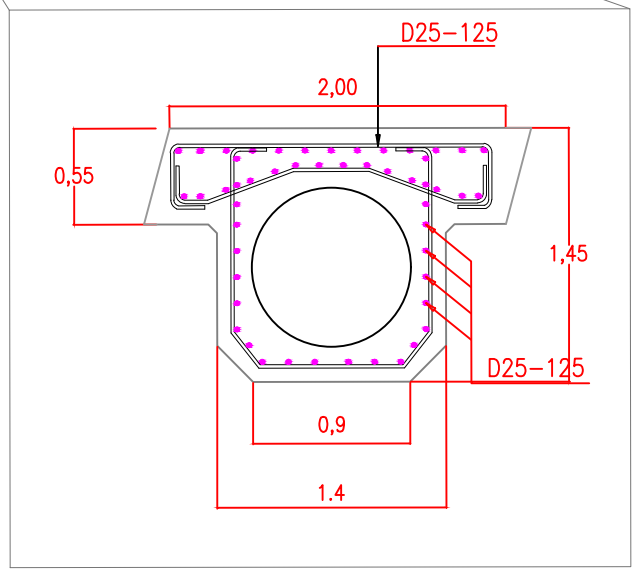
| | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER<br>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN<br>JURUSAN TEKNIK SIPIL | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B<br>3110100106 | Struktur Breakwater | | 3 |




| | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER<br>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN<br>JURUSAN TEKNIK SIPIL | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B<br>3110100106 | Struktur Breakwater | | 4 |

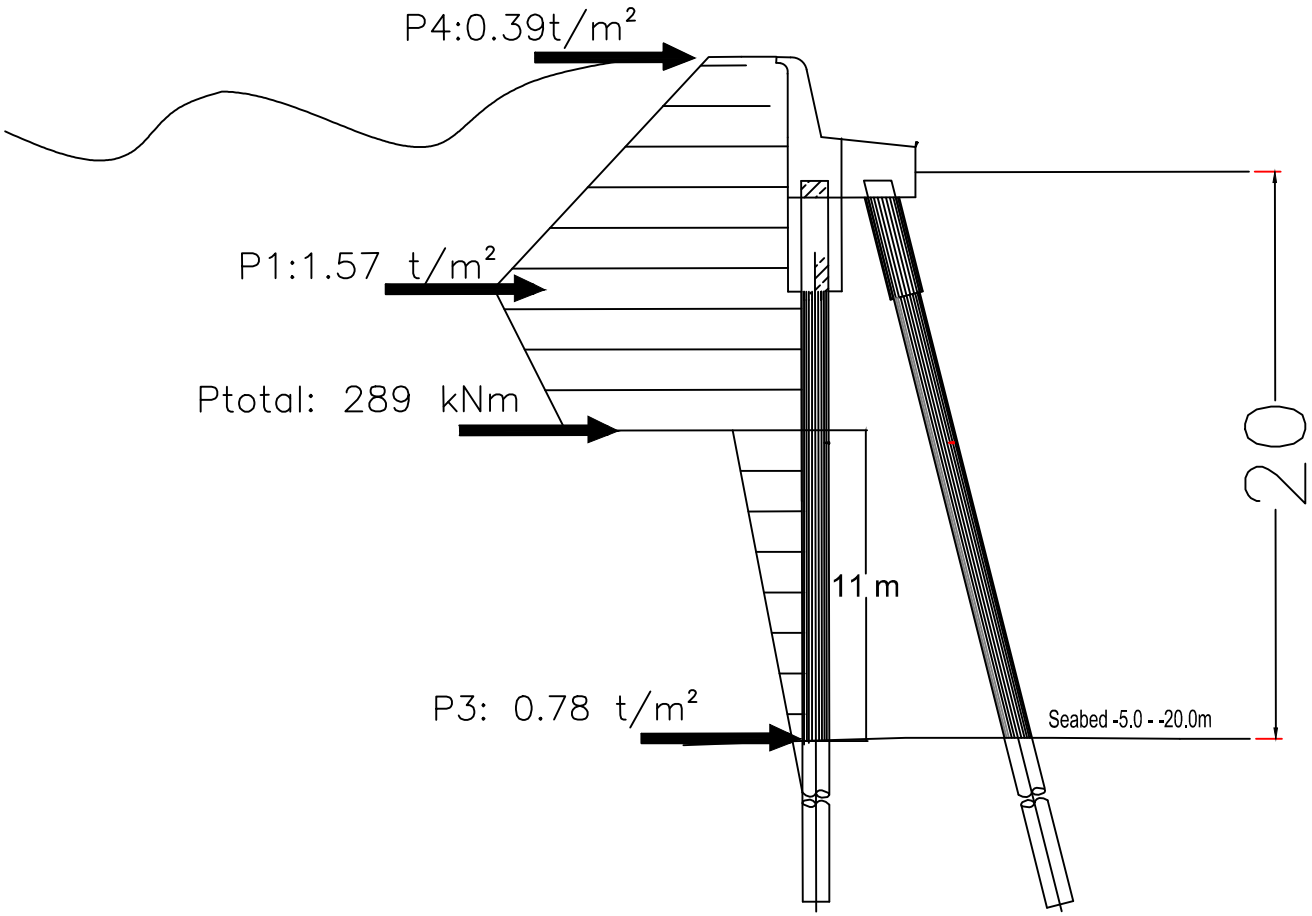



POTONGAN X

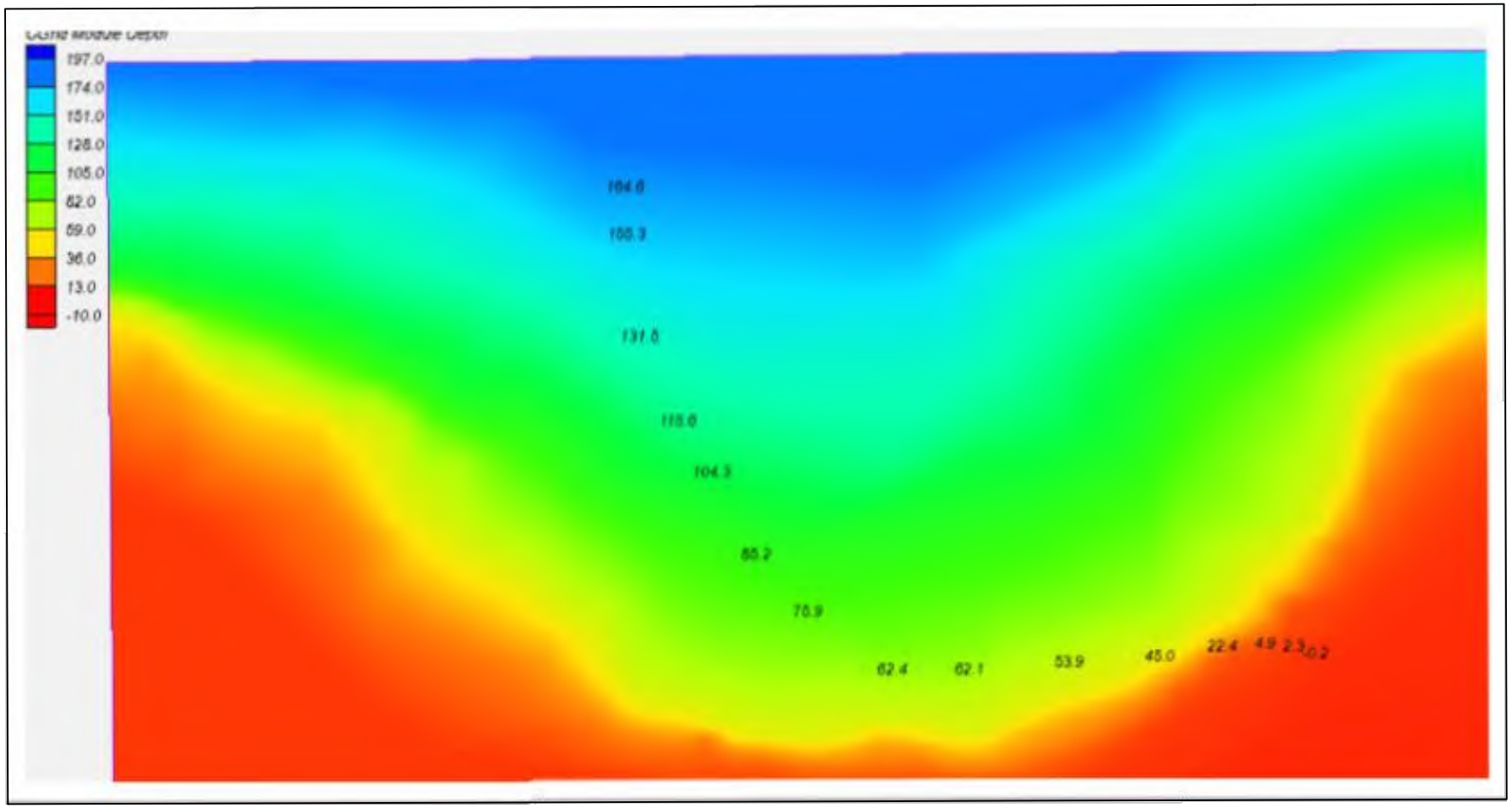



PENULANGAN DINDING PENAHAN

| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B.<br>3110100106 | Struktur Breakwater | | 5 |




| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER<br>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN<br>JURUSAN TEKNIK SIPIL | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B.<br>3110100106 | Diagram Gaya Gelombang | | 6 |




| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER<br>FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN<br>JURUSAN TEKNIK SIPIL | JUDUL TUGAS AKHIR | DOSEN ASISTEN | MAHASISWA | JUDUL GAMBAR | SKALA | NOMOR LEMBAR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | EVALUASI DAN RE-DESIGN BREAKWATER UNTUK PELABUHAN PENYEBERANGAN (FERI) WAIKELO, KABUPATEN SUMBA BARAT, NUSA TENGGARA TIMUR | Fuddoly., Ir., M.Sc<br>Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi | Gorbachev Partahi B.<br>3110100106 | Pemodelan Kontur | | 7 |

# BIODATA PENULIS

**Gorbachev Partahi Bonar**

Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 22 Desember 1991. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDK Nusa Melati (1997-2003), SMP Negeri 103 Jakarta (2003-2006), SMA Negeri 8 Jakarta (2006-2009), dan selanjutnya penulis terdaftar di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2010-2014) dengan NRP 3110100106. Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya ini penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S1) dengan bidang studi Transportasi (Pelabuhan) dengan judul Tugas Akhir "*Evaluasi dan Re-Design Breakwater Untuk Pelabuhan Penyeberangan (Feri) Waikelo, Kabupaten Sumba Barat, Nusa Tenggara Timur*", penulis sempat aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai wakil ketua himpunan periode 2012-2013 serta aktif di beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut.

Contact Person:
Email : gorbachevpb@gmail.com
Twitter : @GorbyGorbachev