

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. UMUM

Perencanaan detil struktur graving dock ini dilakukan untuk mendapatkan struktur graving dock yang mampu menahan beban-beban yang bekerja di atasnya. Perencanaan ini dilakukan berdasarkan besarnya kebutuhan terhadap perbaikan kapal armatim TNI-AL. Graving dock yang akan dibangun mempunyai fungsi jasa reparasi kapal yang meliputi maintenance badan kapal termasuk pengecatan dan pembersihan, serta perawatan mesin dan peralatan kapal.

Pembangunan graving dock yang direncanakan dalam tugas akhir ini berupa pembangunan graving dock untuk kapal dengan ukuran 4000 DWT berikut dengan metode pelaksanaan dewatering.

Pada bab ini akan dijelaskan secara garis besar teori-teori yang akan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

2.2. GRAVING DOCK

Graving dock merupakan jenis fasilitas perbaikan kapal berbentuk seperti kolam dengan kedalaman yang cukup dan letaknya di dekat atau di tepi laut, yang memiliki pintu yang berhubungan langsung dengan perairan laut. Sedangkan pada bagian sisi dan belakangnya terdiri dari dinding yang terbuat dari beton bertulang . Pada dasar dock kolam ini juga terdiri dari pancangan paku bumi untuk dapat menahan berat dari kapal. Pintu kolam tersebut dapat digerakkan /dibuka dan ditutup atau digeser dengan dilengkapi paking untuk menjamin kekedapan airnya.

Perbaikan sebuah kapal dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Perbaikan di bagian dalam kapal.
- b. Perbaikan di bagian luar kapal, al: poros baling baling, pengecatan, dll).

Pekerjaan perbaikan kapal harus dilakukan dengan cepat (24 jam) agar biaya tidak terlalu mahal dan kapal segera bisa dipakai lagi sehingga arus lalu lintas kapal tetap lancar.

2.2.1. Cara kerja graving dock :

- a. Graving dock dalam keadaan terbuka permukaan air di dalam dan di luar dock sama tinggi.
- b. Kapal ditarik masuk ke dalam dock, di setel keel/ bilge blocknya, schoernya, dll
- c. Pintu dock ditutup rapat kemudian air yang ada di dalam dock dikeluarkan sampai dock kering.
- d. Perbaikan kapal dilaksanakan hingga selesai.
- e. Sesudah selesai, air dipompa masuk ke dalam dock sampai muka air yang ada di dalam dan di luar dock sama tingginya.
- f. Setelah muka air sama tinggi, pintu dock dibuka.
- g. Keel/ bilge block, schoer, dll dilepas kemudian kapal ditarik keluar dock, dan kapal berlayar kembali.

Waktu pemompaan (pumping time) tergantung dari jumlah dan kapasitas pompa serta jumlah air yang masuk ke dalam dok kolam. Setelah dock kolam dipompa kering, kekedapan air dari pintu dok tidak sepenuhnya kedap. Kemungkinan masuknya air ke dalam masih ada. Pada dasar perairan, kadang kadang juga digunakan bangunan beton atau tiang pancang dari baja sebagai bantuan untuk menahan beban.

2.2.2. Perlengkapan yang diperlukan :

- a. Dolphin
- b. Ring/rangka
- c. Keel/bilge block
- d. Schoer

- e. Shelter
- f. Valve house, untuk lampu, radio, dll
- g. Motor house, untuk mesin mesin

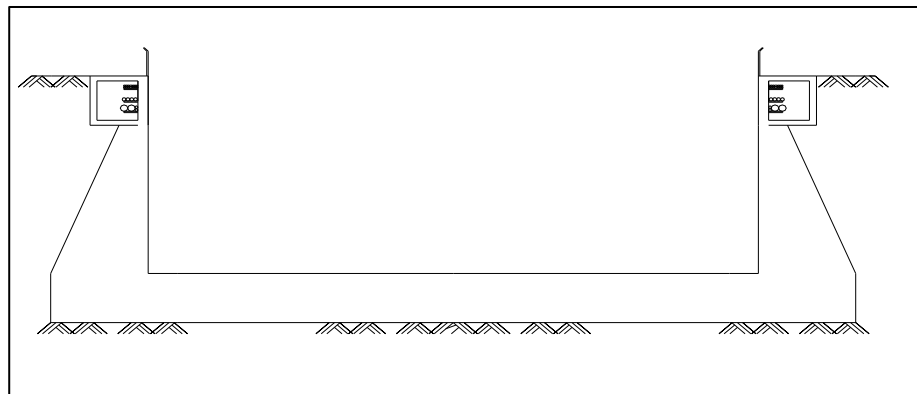
(sumber : *Buku diktat pelabuhan, prasarana transportasi I*).

2.2.3 Jenis struktur Graving Dock :

Klasifikasi dari graving dock dibagi menjadi tiga kategori dasar yaitu :

a. *Heavy atau Gravity dock*

Heavy atau Gravity dock adalah jenis dock yang berat matinya lebih besar daripada gaya uplift yang bekerja. Jenis struktur graving dock ini direncanakan dapat menahan dan menghilangkan semua gaya hidrostatis uplift dengan berat sendiri dari struktur dock, sehingga dibutuhkan struktur dock yang mempunyai berat dan dimensi yang cukup besar. Hal tersebut tentu saja membutuhkan biaya yang sangat besar dalam pembuatannya..



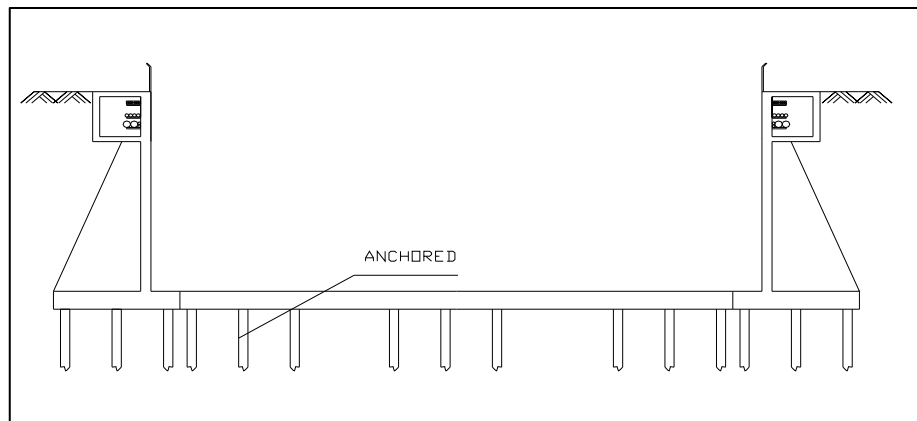
Gambar 2.1.. Heavy Dock

b. *Anchored Dock*

Anchored Dock, yaitu graving dock dengan gaya akibat berat matinya seimbang dengan gaya hidrostatis dan upliftnya.

Hal tersebut dapat terjadi karena dock jenis ini memiliki anchor yang ditanam di dalam tanah, di bawah struktur graving dock untuk menahan gaya hidrostatis uplift pada struktur. Graving dock type ini cukup sulit untuk dibangun pada daerah tanah dengan reaksi lekatan

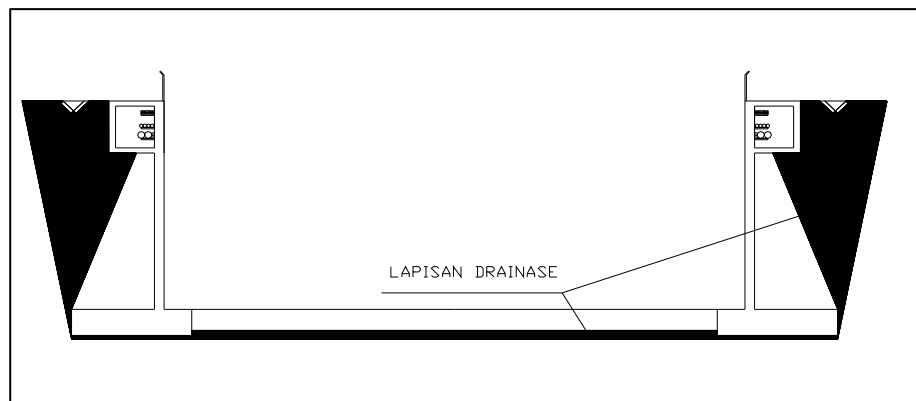
(friction) yang rendah karena nantinya akan membutuhkan anker yang panjang dan banyak untuk dapat memperoleh lekatan tanah yang besar dalam menahan gaya uplift. Selain itu, biaya dan waktu yang dibutuhkan juga cukup besar.



Gambar 2.2.. Anchored Dock

c. Drainage Dock

Pada graving dock jenis ini, gaya hidrostatis uplift pada struktur tidak ditahan melainkan direduksi atau dikurangi pengaruhnya dengan jalan memompa air di bawah graving dock keluar dari dalam graving dock, sehingga pengaruh gaya uplift secara otomatis berkurang. Secara otomatis berat sendiri serta dimensi yang dibutuhkan untuk graving dock rencana dalam menahan gaya uplift tidak terlalu besar.



Gambar 3.3. Drainage Dock.

2.2.4 Pemilihan jenis Graving Dock

Dari ketiga jenis graving dock di atas, berdasarkan kondisi di lapangan dan efisiensi dari ketiga jenis graving dock, maka dapat diputuskan struktur graving dock yang akan dijadikan sebagai type graving dock rencana.

2.3. DATA TEKNIS

2.3.1. Data Arus

Dalam perencanaan struktur graving dock, data arus nantinya akan berguna untuk mengetahui tekanan arus yang mempunyai arah tegak lurus kapal (cross current), agar kapal dapat bermanuver dengan cepat dan mudah.

Arus terjadi akibat adanya perubahan ketinggian permukaan air laut yang menyebabkan pergerakan air secara horisontal. Untuk mendapatkan kecepatan arus digunakan currentmeter. Kecepatan maksimum arus yang diperbolehkan sebesar 4 knot atau 2 m/dt. Kegunaan data arus dalam perencanaan struktur graving dock ini adalah untuk :

- Menghindari pengaruh tekanan arus berarah tegak lurus kapal, sehingga kapal dapat bermanuver dengan mudah.
- Mengevaluasi kecepatan terjadinya sedimentasi pada areal yang dikeruk.

- Pengukuran Arus

Pengukuran ini dilaksanakan untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan dan arah arus terhadap pergerakan pasang surut, disamping sebagai salah satu parameter dalam perhitungan sedimentasi dan untuk menentukan kemudahan manuver kapal menuju lokasi graving dock rencana.

- Metode yang digunakan

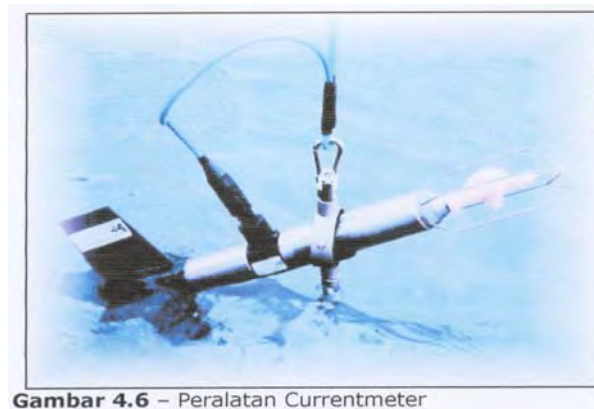
Metode yang digunakan dalam pengukuran arus adalah points methods.

Persiapan persiapan pengukuran yang harus dilakukan sedikitnya meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Penyiapan peralatan yang diperlukan untuk pengukuran, antara lain: current meter, perahu yang berisi beberapa peralatan lain (gambar).
 2. Pengukuran arus dengan metode three points methods yaitu mencelupkan currentmeter pada tiga kadalaman berbeda dalam perairan sedalam d dan diukur dari permukaan yaitu $0,2d$; $0,6d$; dan $0,8d$.
 3. Pengukuran dilakukan pada saat Neap tide dan Spring Tide selama masing masing berturut turut dengan interval pengamatan setiap jam.
 4. Pengukuran yang dilakukan pada 5 lokasi yang berbeda dilaksanakan pada waktu bersamaan dan metode pembacaan yang sama pula.
- Peralatan yang digunakan.

Peralatan yang digunakan berupa propeller Current meter yang bisa mengukur arah arus.

$$\bar{V} = \frac{V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6}}{3}$$



Gambar 4.6 – Peralatan Currentmeter

Gambar 2.4. Peralatan currentmeter.

2.3.2. Data Pasang Surut

Pengukuran pasang surut dilaksanakan untuk mendapatkan fluktuasi muka air laut sekitar lokasi study, serta karakteristik pasang surutnya, dalam hubungannya untuk menentukan jadwal / waktu bagi kapal yang akan masuk ke dalam graving dock dan kedalaman perairan yang dibutuhkan kapal untuk masuk ke dalam graving dock. Pasang surut pada prinsipnya terjadi terutama karena posisi Bumi terhadap Bulan dan Matahari, untuk bintang dan planet kecil lainnya pengaruhnya relatif kecil. Pada saat bulan mengitari Bumi pada garis orbitnya berada dalam jarak yang paling dekat dengan Bumi akan menimbulkan posisi air pasang (*High Water surface = HWS*). Sebaliknya pada saat Bulan mengitari Bumi berada dalam posisi terjauh akan menimbulkan air surut (*Low Water Surface = LWS*).

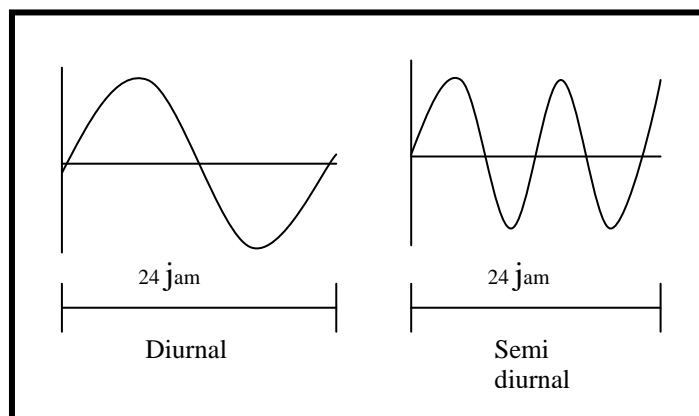
- Pengukuran pasang surut

Pengukuran pasang surut dilakukan pada 2 (satu) lokasi menggunakan metode pembacaan manual.

- Jenis- jenis pasang surut :

1. Diurnal, yaitu bila dalam 1 hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.
2. Semi Diurnal, yaitu bila dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut.
3. Campuran diurnal dan semi diurnal, yaitu campuran baik dengandidominasi semi diurnal maupun diurnal.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat sketsa jenis- jenis pasang surut pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sketsa jenis-jenis terjadinya pasang surut

Pengaruh posisi matahari terjadi pada pola pasang surut dalam satu siklus panjangnya yang terjadi satu bulan sekali atau ± 30 hari. Pada posisi Bulan ditengah antara Bumi dan Matahari akan terjadi rangkaian pasang surut yang perbedaannya besar disebut *Spring Tide*, sedangkan untuk posisi Bumi diantara Bulan dan Matahari akan menghasilkan *Neap Tide*.

2.3.3. Pemetaan Bathimetry.

Bathimetri merupakan kegiatan pengumpulan data kedalaman dasar laut dengan metode penginderaan atau rekaman dari permukaan dasar perairan, yang akan diolah untuk menghasilkan relief dasar perairan, sehingga dapat digambarkan susunan dari garis-garis kedalaman (kontur). Pemetaan kondisi dasar perairan tersebut dikonversikan dalam keadaan surut terendah atau LWS (Low Water Surface), MSL (Mean Sea Level) dan pasang tertinggi (High Water Level) .

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

- a. Koordinat titik-titik referensi darat.

- b. Koordinat titik-titik posisi.
- c. Angka-angka kedalaman air laut.

Garis-garis kontur peta sungai digambar untuk tiap interval -0.5 sampai -1.0 m LWS. Adanya berbagai benda yang menghalangi atau berbahaya di dasar sungai juga perlu ditandai.

2.3.4. Data Tanah

Untuk perencanaan graving dock di TNI-AL ini, digunakan data sekunder hasil SPT & boring di Tambatan Jamrud Pelabuhan Perak Surabaya.

Data tanah juga dilengkapi dengan hasil laboratorium test seperti hasil volumetri & gravimetri, Atterberg limits, sieve analysis maupun triaxial test. Data tanah tersebut akan digunakan dalam memprediksi karakteristik fisis dan mekanis tanah seperti :

- Sudut geser dalam tanah (Φ).
- Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}).
- Kohesi undrained (C_U).

Data tanah dipergunakan untuk mengetahui tekanan tanah lateral yang bekerja pada dinding graving dock dan pada temporary sheetpile, serta menentukan daya dukung dari tanah dasar di lokasi proyek graving dock.

2.3.5. Kedalaman Areal Kolam Labuh

Pada prinsipnya kedalaman perairan harus lebih dalam dari draft penuh kapal terbesar. Kebutuhan kedalaman perairan ini dapat dirinci dari penjumlahan beberapa faktor berikut pada gambar di bawah ini.

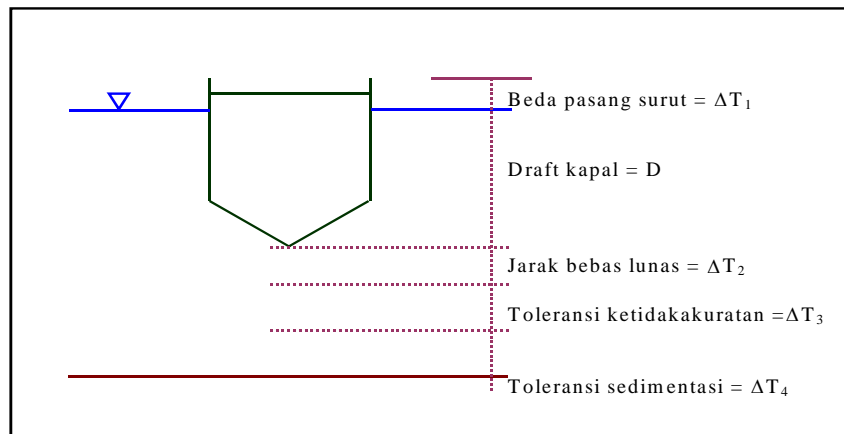
Atau dapat ditulis seperti di bawah ini :

$$\text{Kedalaman Perairan} = \Delta T_1 + D + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 \dots\dots\dots(2-1)$$

Untuk kemudahan penentuan ini dapat digunakan rekomendasi dari hasil riset PIANC, yaitu :

Perairan tenang, kedalaman perairan = $1.1 * \text{draft kapal}$

Perairan terbuka bergelombang, kedalaman perairan = $1.2 * \text{draft kapal}$.



Gambar2.6. Kebutuhan Kedalaman Kolam Pelabuhan

2.3.6. Kolam Putar

Kolam putar dibutuhkan sebagai lokasi manuver. Luas areal ini ditetapkan berdasar diameter lingkaran putar sebesar 4 kali panjang kapal.

2.4 PEMBEBANAN

Beban- beban yang bekerja pada graving dock adalah sebagai berikut:

1. Beban mati (berat sendiri).

Adalah beban-beban mati yang secara umum tetap dan konstan selama waktu hidup konstruksi.

Beban mati ini tergantung dari besarnya ukuran struktur graving dock, dan berat jenis dari beton.

2. Beban hidup.

- Beban hidup merata

Beban hidup merata merupakan beban merata yang diperkirakan akan bertumpu diatas dock, dalam kenyataannya dapat berupa muatan peralatan yang berada di atas dock tersebut.

- Beban hidup terpusat

Yang merupakan beban hidup terpusat adalah beban kapal diatas struktur graving dock yang bertumpu pada bantalan keel block dan bilge block.

3. Beban tekanan tanah lateral.

Beban ini membebani struktur dinding dari graving dock. Beban ini sangat dominan karena semakin dalam beban tanah lateral tanah hal ini akan berpengaruh terhadap besarnya struktur dinding.

Karena tanah pada struktur graving dock terendam air sebagian, maka γ_{tanah} yang dipakai adalah $\gamma_{\text{efektif}} (\gamma')$ atau γ_{sub} (submerged unit weight).

$$\gamma_{\text{sub}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} - \gamma_w$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + W_c \cdot G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} - \gamma_w$$

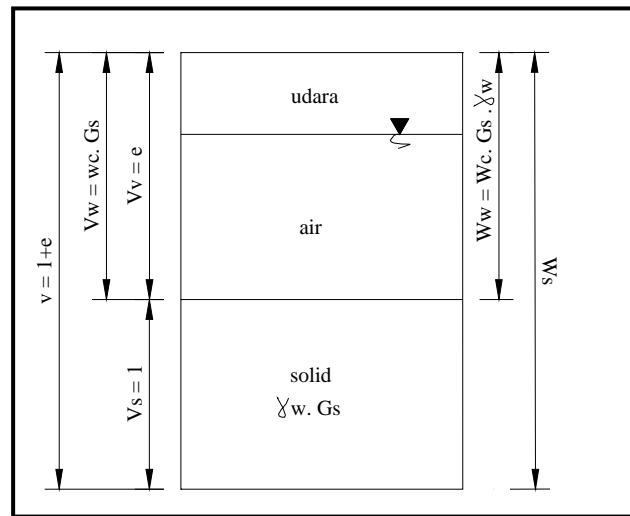
$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + e \cdot \gamma_w}{1 + e} - \frac{\gamma_w (1 + e)}{1 + e}$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{G_s \cdot \gamma_w + e \cdot \gamma_w - \gamma_w - e \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{G_s \cdot \gamma_w - \gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma_{\text{sub}} = \frac{\gamma_w (G_s - 1)}{(1 + e)}$$

Untuk lebih jelasnya, komposisi tanah dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Komposisi Tanah Saturated

$$Pt = 0.5 \times Ka \times \gamma_{sub} \times h^2$$

$$Ka = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta}$$

4. Tekanan hidrostatis air.

Beban air ini juga tidak kalah pentingnya dibandingkan dengan beban tanah lateral. Beban ini bekerja pada dinding struktur graving dock. Beban ini juga dipengaruhi oleh kedalaman air yang membebani struktur.

$$Pt = 0.5 \times Ka \times \gamma_{sub} \times h^2$$

5. Uplift.

Beban ini bekerja pada dinding dan lantai struktur graving dock. Beban ini juga dipengaruhi oleh kedalaman air yang membebani struktur.

$$P_{uplift} = \gamma_w \times h^2$$

$$\text{dimana : } \gamma_{air \text{ laut}} = 1,05 \text{ t/m}^3$$

6. Beban lain-lain.

Beban ini antara lain :

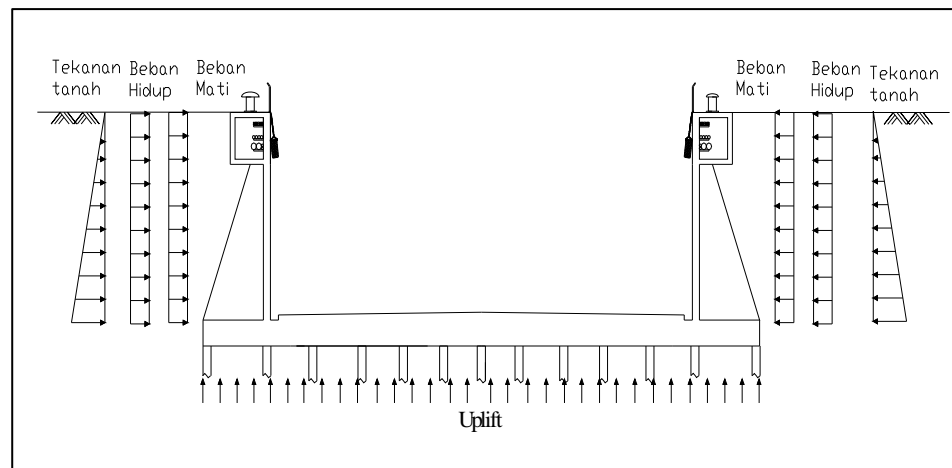
- Beban pintu dari graving dock.
- Beban crane
- Dsb

2.4.1. Kondisi Pembebanan

Kondisi pembebanan dari graving dock ini memiliki tiga kondisi pembebanan yaitu :

a. Kondisi 1

Dock dalam kondisi kosong (kondisi waktu pembersihan atau perbaikan terhadap graving dock itu sendiri), dimungkinkan dinding graving dock akan berdiri sendiri untuk menahan tekanan tanah ke samping, sedangkan lantai graving dock dengan beratnya sendiri dan belum terkena beban akibat kapal dan kemungkinan hanya dari beban uplift. (Gambar 2.7).

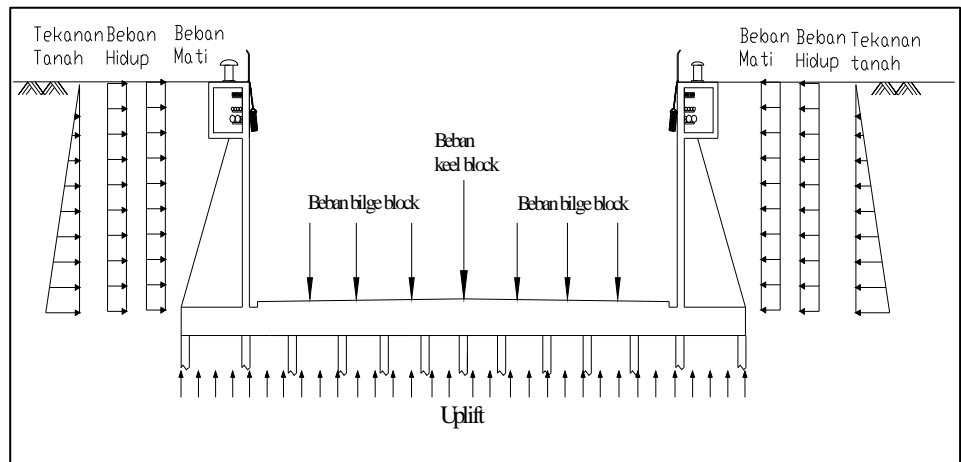


Gambar 2.8. -Pembebanan kondisi 1

b. Kondisi 2

Pada kondisi 2 graving dock dalam keadaan kosong tetapi terisi oleh kapal yang sedang direparasi atau dibangun, dan pembebanan sama dengan kondisi 1 tetapi beban kapal perlu ditambahkan.

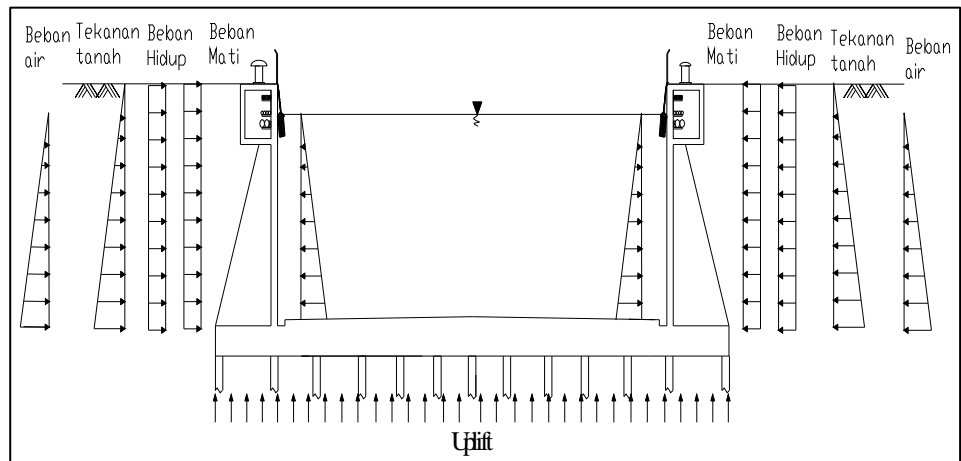
(Gambar 2.8).



Gambar 2.9. Pembebanan kondisi 2

c. Kondisi 3

Pada kondisi 3, graving dock dipenuhi oleh air laut. Dalam kondisi ini beban yang berpengaruh adalah air laut baik yang berada di atas graving dock ataupun yang menekan dari bawah. (Gambar 2.9).



Gambar 2.10. Pembebanan kondisi 3.

2.5 DIMENSI GRAVING DOCK

Perencanaan sistem struktur graving dock didasarkan pada fungsi dari graving dock itu sendiri. Berdasarkan dari fungsi, maka graving dock rencana harus mampu menampung kapal dengan ukuran terbesar yang akan dilayani.

Dimensi dari graving dock ini terdiri dari :

1. Panjang

Panjang dari graving dock dapat ditentukan sesuai dengan rumus di bawah ini :

$$L_U = (3 - 4m) + L_d \quad \text{panjang minimum.....(2-2)}$$

$$L_U = (10 - 30m) + L_d \quad \text{untuk keperluan mobilitas mesin.....(2-3)}$$

Dimana : L_U : Panjang total graving dock.

L_d : Panjang total kapal.

2. Lebar

Lebar dari graving dock ditentukan sesuai dengan rumus di bawah ini :

$$S_U = (3 - 6m) + S_d \quad \text{.....(2-4)}$$

4)

$$S_U = (0.15 - 0.18)L_U \quad \text{.....(2-5)}$$

5)

Dimana : S_U : Lebar total graving dock.

S_d : Lebar total kapal.

3. Lebar pintu masuk minimum

Lebar yang dibutuhkan kapal untuk masuk ke dalam graving dock adalah :

$$S_w = \text{Lebar kapal} + 2m \quad \text{.....(2-6)}$$

4. Tinggi total

Tinggi dari graving dock dapat ditentukan sesuai dengan rumus :

$$H = (Tc + r) \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana : H : Tinggi total graving dock.

Tc : Kedalaman draft kapal.

r : Ruang bebas antara dasar lantai dengan dasar kapal
 $\approx 0,5$ m.

(sumber: *Design and Construction in Civil Engineering and Building at home and abroad, PHILIPP HOLZMANN*).

2.6 TAHANAN GESER TANAH

Tahanan geser tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tegangan. Tahanan geser digunakan untuk mengevaluasi hal-hal yang berhubungan dengan stabilitas lereng, daya dukung ultimate, tekanan tanah lateral, dan stabilitas dinding penahan. Analisa tahanan geser meliputi penentuan tegangan sepanjang suatu bidang keruntuhan dan membandingkannya terhadap kuat geser tanah. Jika kekuatan tanah lebih besar daripada tegangan terhitung, maka massa tanah aman terhadap keruntuhan pada bidang yang ditinjau. Jika tegangan tersebut lebih besar daripada kekuatan tanah, maka akan terjadi keruntuhan. Kekuatan geser tanah melibatkan parameter-parameter kekuatan tanah yang mempunyai kohesi (c) dan sudut gesekan dalam (Φ). Kohesi (c) adalah gesekan antar butir-butir tanah yang menghambat terjadinya peluncuran. Kekuatan geser tanah dinyatakan dalam tegangan-tegangan total adalah :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \Phi$$

Di dalam tegangan-tegangan efektif maka kekuatan geser tanah adalah :

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \Phi$$

dimana :

τ_f = Kekuatan geser (kg/ cm²)

c = kohesi tanah (kg/ cm)

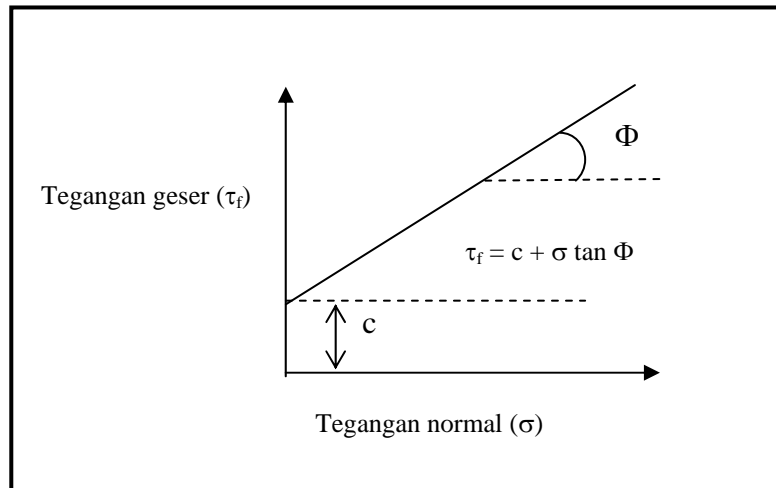
Φ = Sudut gesekan dalam (°)

σ = Tegangan normal pada bidang geser (kg/ cm²)

σ' = nilai tagangan efektif tanah ($\sigma' = \sigma - u$)

dengan u = tegangan air pori

Hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.11. Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal
(sumber : *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis, Braja.M.Das Jilid 2*)

2.7. TEKANAN TANAH LATERAL

Tekanan tanah lateral merupakan parameter yang penting dalam analisa perencanaan maupun analisa stabilitas struktur untuk dinding penahan tanah, turap (sheet pile), galian yang diperkokoh dan yang tidak diperkokoh, pipa yang ditanam, dinding terowongan, dan konstruksi-konstruksi lainnya yang ditanam di dalam tanah. Tekanan tanah lateral dapat dikelompokkan kedalam 3 (tiga) kondisi :

1. Tekanan tanah lateral pada keadaan diam.
2. Tekanan tanah lateral pada keadaan aktif.
3. Tekanan tanah lateral pada keadaan pasif.

2.7.1 Tekanan tanah lateral pada keadaan diam.

Tekanan lateral diam adalah tekanan tanah lateral yang ada dalam tanah yang tidak disebabkan adanya dorongan lateral. Tekanan horizontal antar butiran (σ_h) dikaitkan dengan tegangan vertikal antar butiran mempunyai hubungan yang dapat ditulis dalam persamaan :

$$\sigma_h = K_0 \times \sigma_v$$

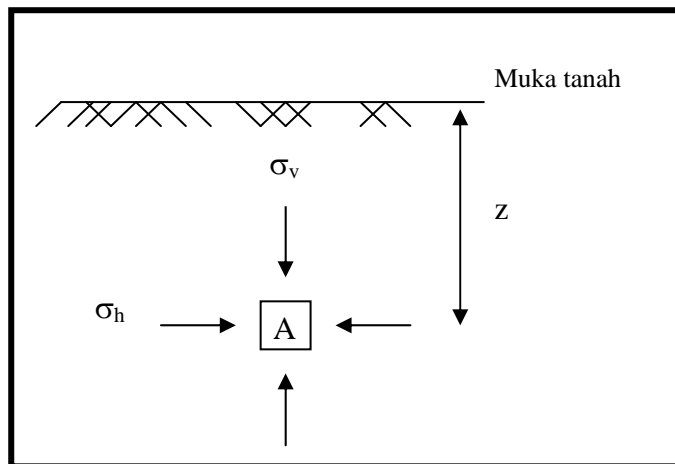
dimana : K_0 = koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam.

σ_h = tekanan tanah arah vertikal.

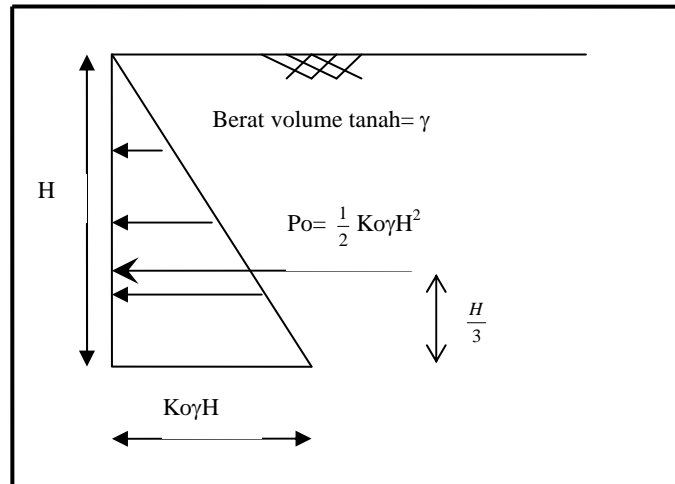
σ_v = tekanan tanah arah horizontal = γh .

Untuk lebih jelasnya, gambar tegangan tanah pada keadaan diam dapat dilihat pada Gambar 2.11. Sedangkan Gambar 2.12. menunjukkan distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam yang bekerja pada dinding setinggi H. Gaya per-satuan lebar dinding , P_0 adalah sama dengan luas dari diagram tekanan tanah yang bersangkutan.

$$\text{Jadi, } P_0 = \frac{1}{2} K_0 \gamma H^2$$



Gambar 2.12. Tegangan tanah pada keadaan diam



Gambar 2.13. Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam.

2.7.2. Tekanan tanah lateral pada keadaan diam untuk tanah yang terendam air sebagian.

Jika suatu struktur dinding penahan tanah setinggi H dengan permukaan air tanah (ground water table) terletak pada kedalaman H dari permukaan tanah.

1. Untuk $z \leq H$

Tekanan tanah dalam keadaan diam arah horizontal untuk $z \leq H$ adalah sebesar $\sigma_h = K_o \times \gamma z$.

Variasi σ_h dengan kedalaman tertentu diunjukkan oleh segitiga ACE dalam gambar 2-15a.

2. Untuk $z \geq H_1$ (yaitu di bawah permukaan air tanah).

Untuk $z \geq H_1$ tanah dalam keadaan jenuh, maka tekanan tanah lateral pada tembok merupakan komponen dari tekanan efektif dan tekanan air pori.

- Tekanan efektif arah vertikal :

$$\sigma_v' = \gamma H_1 + \gamma'(z-H)$$

dimana : $\gamma' = \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Tekanan efektif arah horizontal :

$$\begin{aligned}\sigma_h' &= K_o \sigma_v' \\ &= K_o [\gamma H_1 + \gamma'(z-H_1)]\end{aligned}$$

Variasi σ_h' dengan kedalaman tertentu ditunjukkan oleh CEGB dalam gambar 2-15a.

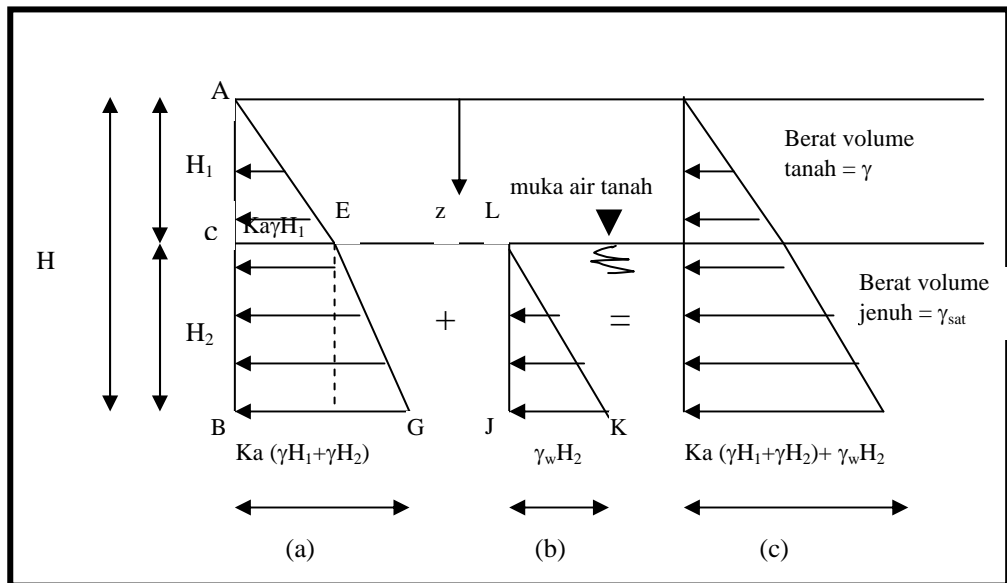
· Tekanan arah horizontal yang disebabkan oleh air adalah :

$$u = \gamma_w (z - H_1)$$

Oleh karena itu, tekanan tanah total arah horizontal pada kedalaman $z \geq H_1$ adalah :

$$\begin{aligned}\sigma_h &= \sigma_h' + u \\ &= K_o [\gamma H_1 + \gamma' (z-H_1)] + \gamma_w (z-H_1)\end{aligned}$$

dimana $z-H_1 = H_2$



Gambar 2.14. Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam untuk tanah terendam sebagian

Jadi gaya per-satuan lebar merupakan luasan dari diagram tekanan yang diberikan dalam Gambar 2.13 yaitu :

$$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H_1^2 + K_o \gamma H_1 H_2 + \frac{1}{2} (K_o \gamma' + \gamma_w) H_2^2$$

2.7.3. Tekanan tanah lateral aktif.

Tekanan tanah lateral aktif dikelompokkan dalam 2 (dua) kondisi tanah, yaitu :

1. Tekanan tanah aktif pada jenis tanah non kohesif (berbutir).
2. Tekanan tanah aktif pada jenis tanah kohesif.

2.7.3.1. Tekanan tanah aktif untuk jenis tanah non kohesif ($c = 0$).

a. *Tekanan tanah antar butiran yang dihasilkan oleh tanah non kohesif horizontal yang bekerja pada sembarang kedalaman.*

Tekanan tanah antar butiran yang dihasilkan oleh tanah non kohesif horizontal yang bekerja pada sembarang kedalaman pada dinding penahan tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_a = K_a \times \sigma_h$$

Untuk tanah non kohesif kering yang homogen, pernyataan ini dapat ditulis dengan persamaan :

$$\sigma_a = K_a \times \gamma z.$$

dimana : K_a = koefisien tekanan tanah aktif.

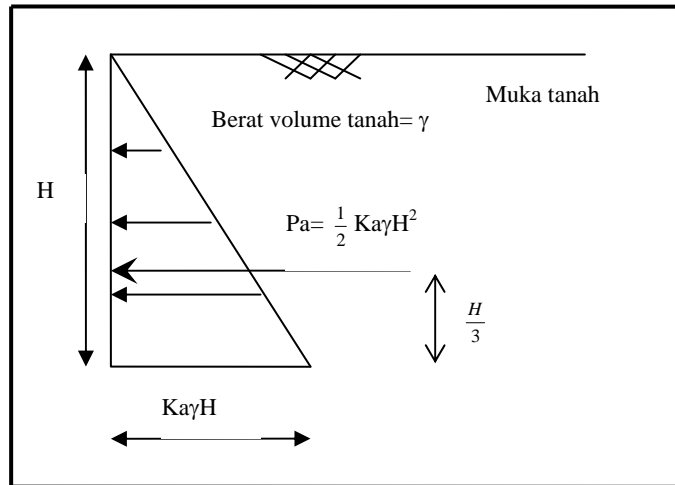
$$= \tan^2 (45^\circ - \Phi/2).$$

Φ = sudut geser tanah.

γ = berat volume tanah.

Z = kedalaman dibawah permukaan tanah.

Gambar 2.14. menunjukkan tekanan tanah lateral aktif untuk tanah yang tidak berkohesi.



Gambar 2.15.. Diagram tekanan keadaan aktif.

Gaya lateral total persatuan panjang dinding penahan pada gambar

2.16 adalah: $P_a = \frac{1}{2} (K_a \gamma H)$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

Dan bekerja pada suatu titik yang bejarak $1/3H$ diatas dasar dinding.

- b. *Tekanan tanah lateral pada keadaan diam untuk tanah non kohesif yang terendam air sebagian dan diberi beban luar (surcharge).*

Jika permukaan air tanah terletak pada kedalaman H_1 dibawah permukaan tanah, maka tanah dibelakang dinding penahan tanah berupa tanah jenuh, dimana air memberi tambahan tekanan tanah kesamping. Sedangkan untuk urugan dibelakang dinding penahan tanah memberi beban tambahan merata sebesar q per-satuan luas.

Sehingga tekanan tanah efektif dari tanah aktif di sembarang kedalaman dapat ditulis dalam persamaan :

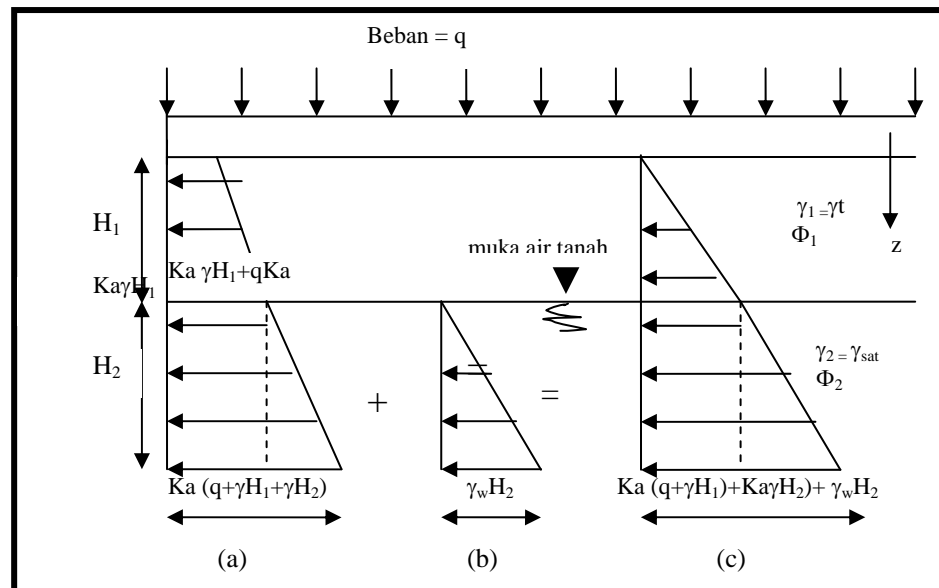
$$\sigma_a' = K_a \times \sigma_v'$$

dimana : σ_a' = tekanan efektif tanah arah horizontal.

σ_v' = tekanan efektif tanah arah vertikal.

Diagram tekanannya dapat dilihat pada Gambar 2.15.

dimana $z - H_1 = H_2$

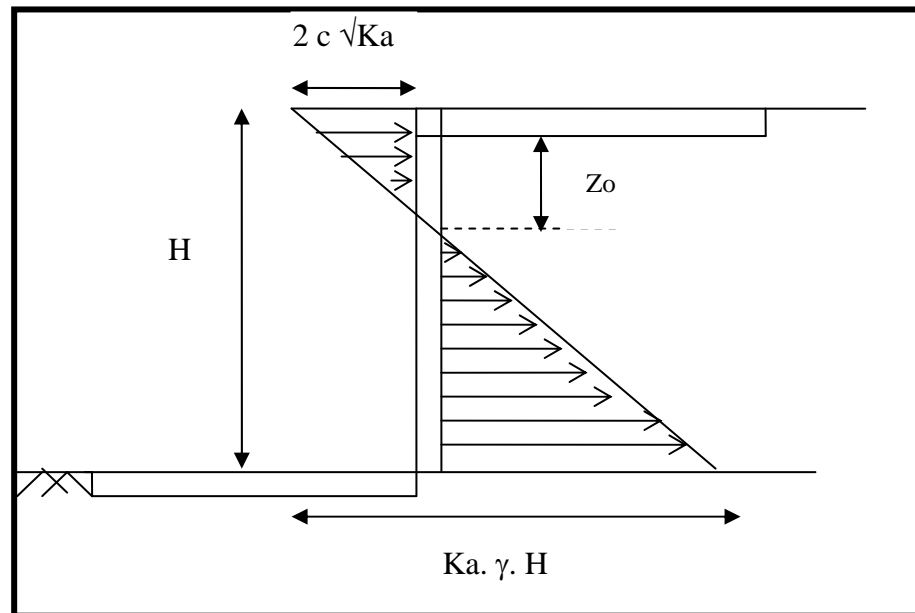


Gambar 2.16. Distribusi tekanan tanah lateral pada keadaan diam untuk tanah non kohesif yang terendam air sebagian dan diberi beban luar (surcharge).

(sumber : *Mekanika Tanah, Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis, Braja.M.Das Jilid 2*).

2.7.3.2. Tekanan tanah aktif untuk jenis tanah kohesif ($C \neq 0$).

Untuk jenis tanah kohesif atau sering juga disebut dengan jenis tanah granular tekanan aktifnya bernilai nol pada kedalaman Z_0 , sedangkan pada kedalaman kurang dari Z_0 tekanan tanah aktifnya bernilai negatif. Tekanan negatif menunjukkan bahwa tanah dalam keadaan tarik. Adanya tekanan tarik pada tanah dapat menyebabkan retak - retak pada tanah. Karena tanah tidak mampu menahan tekanan negatif pada segala jenis dinding penahan, maka dalam perhitungan gaya aktif total pada struktur penahan tanah nilai kohesi tidak dimasukkan dalam perhitungan. Gaya aktif total horizontal yang diperhitungkan dapat dilihat dari diagram distribusi tekanan yang ditunjukkan pada Gambar 2.16. pada bagian yang diarsir saja.



Gambar 2.17. Diagram tekanan aktif pada tanah kohesif.

2.7.4. Tekanan tanah lateral pasif.

2.7.4.1. Tekanan tanah lateral pasif untuk tanah non kohesif.

Tekanan pasif untuk tanah non kohesif hampir sama dengan tekanan aktif, hanya harga K_a menjadi K_p (koefisien tekanan tanah pasif).

Dimana harga $K_p = \tan^2 (45^\circ + \Phi/2)$

2.7.4.2. Tekanan tanah lateral pasif untuk tanah kohesif.

Tekanan tanah pasif untuk tanah kohesif dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_p = K_p \cdot \sigma_v + 2c \cdot \sqrt{K_p}$$

$$\sigma_p = K_p \cdot \gamma \cdot z + 2c \cdot \sqrt{K_p}$$

untuk $z = 0$, maka :

$$\sigma_p = 2c \cdot \sqrt{K_p}$$

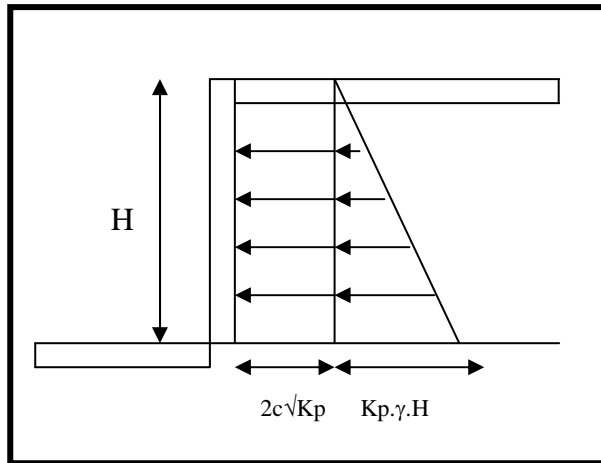
untuk $z = H$, maka :

$$\sigma_p = K_p \cdot \gamma \cdot z + 2c \cdot \sqrt{K_p}$$

Gaya pasif total yang diberikan adalah :

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \cdot \gamma \cdot H^2 + 2c \cdot \sqrt{K_p} \cdot H$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.18.. Diagram tekanan lateral pasif untuk tanah kohesif.

2.8. PERHITUNGAN STRUKTUR

Pada Tugas Akhir ini, perhitungan struktur dibagi dua yaitu perhitungan struktur bagian atas (upper structure) dan struktur bagian bawah (lower structure). Struktur bagian atas merupakan struktur yang langsung menerima beban dock yang terdiri dari struktur dinding, plat lantai, balok memanjang, dan balok melintang.

Sedangkan struktur bagian bawah dari graving dock meliputi :

1. Struktur pondasi dinding

Pada pondasi dinding ini meliputi pondasi tekan dan pondasi tarik.

2. Struktur pondasi lantai

Pada pondasi lantai meliputi pondasi tekan saja.

Perhitungan konstruksi beton dapat dilakukan dengan berdasarkan pada Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 dan SK SNI 1991. dalam PBI 1971 perhitungan strukturnya berdasarkan teori elastis. Pada teori elastis, karena :

- a. Apabila terjadi beban lebih (overload) maka struktur tersebut masih bisa menahannya atau tidak mengalami retak.

b. Bila struktur tertimpa oleh beban-beban yang ada maka wujud dari struktur tetap kembali seperti semula, hal ini disebabkan adanya diagram tegangan dan regangan yang menunjukkan batas elastis dan plastis pada suatu material, dalam hal ini adalah beton dan baja.

Sedangkan SK SNI 1991, perhitungan strukturnya berdasarkan teori kekuatan batas, dimana pada teori ini apabila terjadi beban lebih (overload) maka struktur akan mengalami retak.

2.8.1. Perhitungan Struktur Bagian Atas

2.8.1.1 Struktur dinding

Perhitungan dinding graving dock didasarkan atas beban-beban tanah yang menekan pada dinding. Agar dinding tidak terlalu besar menerima beban tanah maka dinding harus diberi pengaku (stifners) yang disebut dengan counterfort. Sehingga counterfort inilah yang akan memikul beban dari tanah.

Penentuan jarak counterfort ini didasarkan atas rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{3} s / \frac{1}{2} h$$

Dimana :

S : Jarak antar counterfort

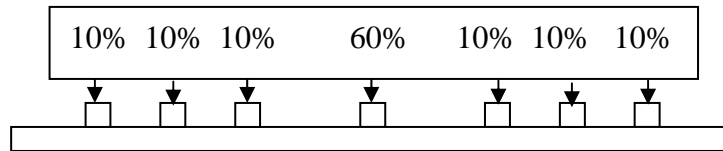
h : tinggi dinding

Untuk perencanaannya menggunakan peraturan PBI 1971.

Untuk perencanaan counterfort diasumsikan sebagai balok T palsu kantilever yang mengacu pada PBI'71.

Karena bentuk counterfort tidak sama mulai dari bawah sampai atas, maka perencanaan harus dihitung tiap satuan kedalaman counterfort.

2.8.1.2 Struktur lantai



Gambar 2.19. Beban kapal

$$P_{\max, \min} = \frac{Cd}{Lp} \left[1 \pm \frac{3 * (Lw - Lp)}{Lp} \right]$$

Ada dua bagian pokok pada lantai graving dock yaitu :

- Keel Block slab adalah bantalan kapal yang berada di tengah dan berfungsi sebagai penyangga kapal bagian tengah. Dan keel ini terkena beban yang paling besar dari kapal.
- Bilge block slab adalah bantalan kapal yang berada di pinggir yang berfungsi sebagai penyangga kapal bagian tepi. Bilge ini akan terkena beban yang tidak terlalu besar karena letaknya ditepi dari titik berat kapal.

2.8.1.3 Perhitungan pelat

Berdasarkan perbandingan ukuran, plat dibedakan menjadi dua type, yaitu plat satu arah (one way slab) dan plat dua arah (two way slab) Plat satu arah adalah plat dimana perbandingan antara bantang panjang dengan bantang pendek (I_y/I_x) lebih dari satu atau sama dengan dua $\left[\frac{I_y}{I_x} \geq 2 \right]$,

tulangan dipasang hanya arah bantang pendek saja, sedangkan arah tegak lurus lentur harus dipasang tulangan untuk memikul tegangan akibat susut dan perubahan temperatur, perhitungan statika plat satu arah analog dengan perhitungan balok (PBI 1971). Plat dua arah adalah dimana

perbandingan antara bentang panjang dengan bentang pendek adalah kurang dari dua ($\frac{I_y}{I_x} < 2$), tulangan dipasang dalam arah x dan y.

Asumsi perhitungan yang dipilih adalah perletakan jepit elastis pada sisi-sisinya karena pada tepi-tepi pelat pasti terjadi rotasi (perputaran sudut). Harga-harga koefisien untuk perhitungan momen akibat beban terbagi rata diambil dari *PBI 1971 - Tabel 13.3.2*.

2.8.1.4 Perhitungan Momen Plat

Perhitungan momen lapangan dan tumpuan pelat dihitung dengan cara sebagai berikut :

a. Akibat beban merata, yaitu :

$$Ml = +0.001 \times q \times lx \times X \dots\dots\dots(2-8)$$

$$Mt = -0.001 \times q \times lx \times X \dots\dots\dots(2-9)$$

dimana :

q = beban terbagi rata

lx = bentang pendek plat

X = koefisien (*PBI 1971 – Tabel 13.3.2*)

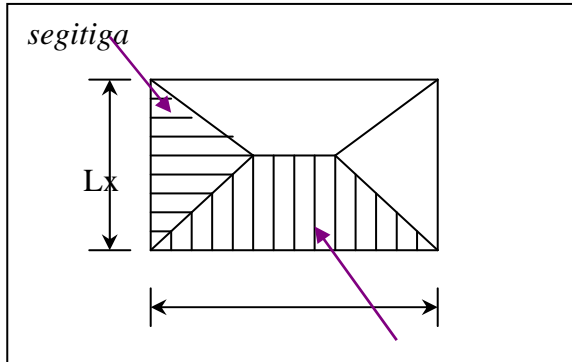
b. Akibat beban terpusat

Dihitung menggunakan software SAP2000 dengan berbagai kombinasi posisi pembebanan yang mungkin terjadi di lapangan.

2.8.1.5 Penulangan Plat

Penulangan pelat menggunakan perhitungan lentur cara ‘n’ yang disesuaikan dengan PBI 1971. Perhitungan cara ini digunakan juga dalam penulangan balok yang akan dibahas dalam *Sub-bab 2.8.1.9*

2.8.1.6 Distribusi Beban Plat pada Balok

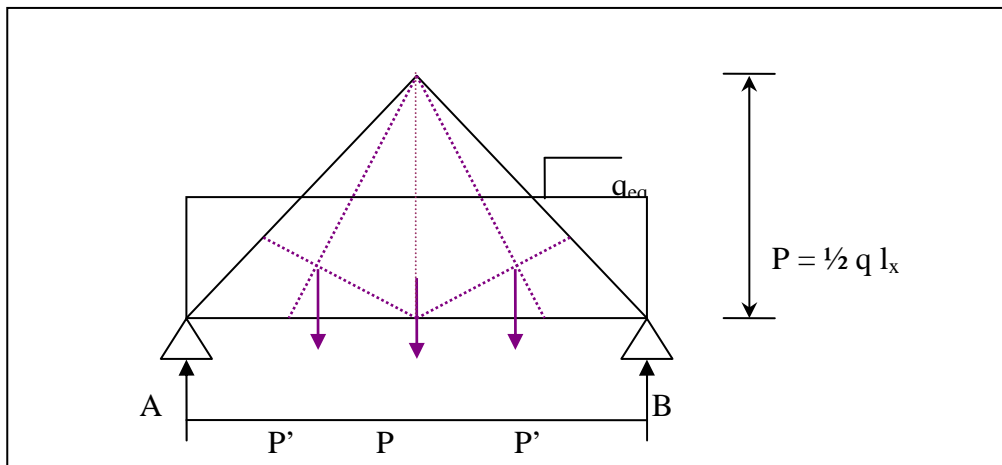


Gambar2 20. Distribusi Beban Plat pada Balok

Beban plat q (t/m^2 , kg/m^2)

$$P = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \quad (t/m^2, kg/m^2) \dots\dots\dots(2- 10)$$

Beban Segitiga

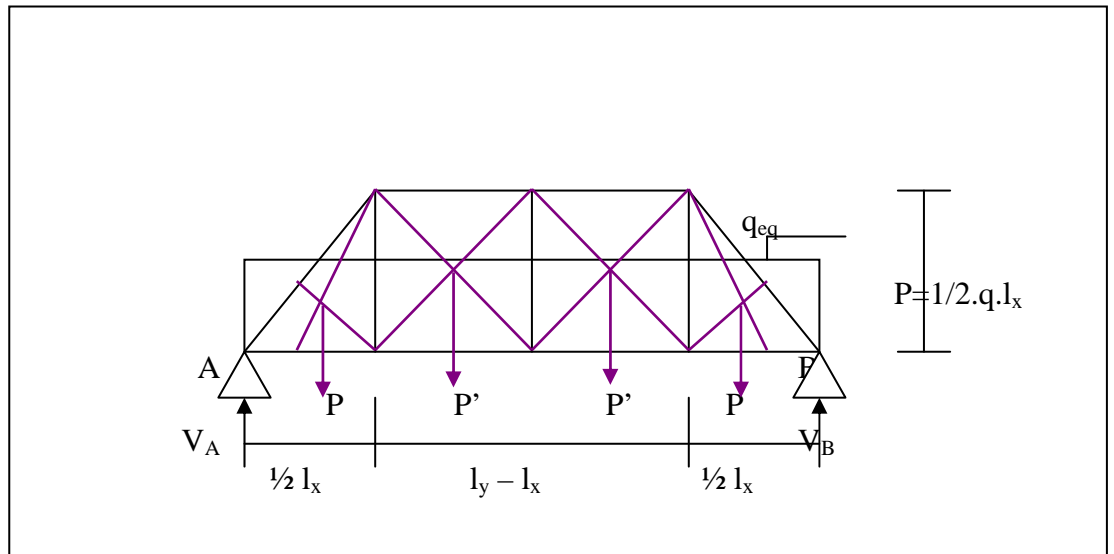


Gambar 2.21. Beban Segitiga

Beban segitiga :

$$q_{eq} = \frac{1}{2} \cdot P = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x = \frac{1}{3} \cdot q \cdot l_x \dots\dots\dots(2-11)$$

Beban Trapesium :



Gambar 2.22. Beban Trapesium

Beban trapesium :

$$q_{eq} = P \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_x \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right] \dots\dots\dots(2-12)$$

2.8.1.7 Balok Memanjang

Balok memanjang diasumsikan menumpu di atas balok melintang meskipun pada kenyataannya letaknya sejajar dan ukurannya dibuat sama dengan balok melintang. Terkecuali pada balok memanjang untuk tumpuan rel crane (portainer) dengan beban titik sangat berat akan membutuhkan ukuran balok yang lebih besar sehingga tidak dapat dibuat seragam.

Untuk penentuan momen dan gaya lintang dapat ditentukan berdasar hasil perhitungan SAP2000.

2.8.1.8. Balok Melintang

Balok melintang menandai adanya portal dari struktur, dimana pada ujung balok arah sisi tambat kapal diletakkan fender atau boulder.

Penentuan momen, gaya lintang dan gaya reaksi pada perletakan balok ditentukan berdasar perhitungan stabilitas menyeluruh (stabilitas 3 dimensi) dari sistem struktur ini yaitu stabilitas antar portal dan balok memanjang. Perhitungan dengan mengandalkan stabilitas tiap portal secara individual (stabilitas 2 dimensi) menyebabkan hasil perhitungan momen seringkali agak berlebihan.

Dengan menerapkan beberapa kombinasi pembebanan sesuai kondisi masing – masing dermaga, akan diperoleh hasil perhitungan pada tiap – tiap sambungan (joints) dan simpul, selanjutnya perlu dipilih yang menghasilkan angka maksimum untuk dipakai sebagai dasar perhitungan kebutuhan tulangan dan pengecekan kekuatan bahan.

2.8.1.9 Perhitungan Penulangan

Perhitungan tulangan berdasarkan perhitungan lentur cara ‘n’ yang disesuaikan dengan PBI 1971.

Perhitungan lentur dengan cara “n” adalah sebagai berikut :

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n.M}{b.\sigma_a}}} \dots\dots\dots(2 - 13)$$

$$\phi_o = \frac{\sigma_a}{n.\sigma'_b} \dots\dots\dots(2 - 14)$$

$$A_{\min} = \frac{12}{\sigma_{au}}bh \dots\dots\dots(2 - 15)$$

dimana :

- M = momen lentur akibat beban kerja
- b = lebar penampang balok persegi, lebar badan penampang balok T
- h = tinggi manfaat penampang
= ht - selimut beton – Ø sengkang – ½ Ø tulangan
- ht = tinggi penampang balok

n = angka ekuivalensi antara satuan luas baja dengan satuan luas beton

$$= E_a / E_b \text{ (PBI'71 pasal 11.1.3)}$$

E_a = modulus elastis baja menurut PBI'71 pasal 11.1.1c

$$= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

E_b = modulus elastis beton menurut PBI'71 pasal 11.1.1c

$$\text{Untuk pembebanan tetap : } E_b = 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

$$\text{Untuk pembebanan sementara : } E_b = 9600\sqrt{\sigma'_{bk}}$$

σ'_{bk} = mutu beton (kg/cm²) menurut PBI'71 tabel 4.2.1

$\overline{\sigma}_a$ = tegangan tarik baja yang diijinkan menurut tabel 10.4.1

PBI'71

Menurut **PBI 1971 – Pasal 11.7.2**, apabila tegangan geser beton τ_b akibat pembebanan tetap melampaui τ'_b untuk pembebanan tetap, maka tulangan geser beton diperlukan untuk memikul tegangan geser kelebihannya ($\tau_b - \tau'_b$). tetapi apabila tegangan geser beton τ_b akibat pembebanan tetap atau pembebanan sementara melampaui τ'_b . Untuk pembebanan sementara, maka seluruh tegangan geser harus dipikul kepada tulangan geser. Jika dalam hal ini akan diakali tulangan miring, maka minimum 50 % dari tegangan geser tersebut harus dipikulkan kepada sengkang-sengkang dan selebihnya boleh dipikulkan kepada tulangan miring.

Sebagai tulangan geser dipakai sengkang dengan luas efektif A_s dan jarak A_s dan tulangan miring dengan luas efektif A_m dan jarak A_m . Perumusan yang digunakan untuk menghitung tulangan geser berdasarkan **PBI 1971 - Rumus 11.7.4**,

$$\tau_s + \tau'_m > \tau_t \dots\dots\dots(2 - 16)$$

$$\tau_s = A_s \cdot \overline{\sigma}_a / (a_s \cdot b) \dots\dots\dots(2 - 17)$$

$$\tau_m = A_m \cdot \overline{\sigma}_a \cdot (\sin \phi + \cos \phi) / (a_m \cdot b) \dots\dots\dots(2 - 18)$$

dimana :

τ_b = tegangan geser yang dapat dikerahkan oleh sengkang.

τ_m = tegangan geser yang dapat dikerahkan oleh tulangan miring.

ϕ = sudut kemiringan tulangan miring terhadap sumbu memanjang balok

Tegangan – tegangan beton yang diijinkan berdasarkan **PBI 1971**

Tabel 10.4.2 :

Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.54 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.85 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

2.8.1.10 Kontrol Retak

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar bangunan yang tidak terlindung dari hujan dan terik matahari lnsung dan secara kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan agresif adalah 0.01 cm sesuai *pasal 10.7.1 PBI'71*. Besarnya lebar retak yang terjadi dapat dihitung dengan perumusan berikut:

$$w = \alpha \left(C_3xc + C_4x \frac{d}{\omega p} \right) x \left(\sigma_a - \frac{C_5}{\omega p} \right) x 10^{-6} \dots\dots\dots(2 - 19)$$

dimana :

w = lebar retak (cm)

α = koefisien yang tergantung pada jenis batang tulangan

- Untuk batang polos, $\alpha = 1.2$
- Untuk batang profil, $\alpha = 1.0$

c = tebal penutup beton (cm)

d = diameter batang polos (cm), apabila dipakai batang yang diprofilkan maka dikorelasi menjadi diameter pengenalan (d_p).

σ_a = tegangan tarik baja yang bekerja di tempat retak (kg/cm^2)

$\omega p, c_3, c_4, c_5$ = koefisien yang diambil dari Tabel 10.7.1 PBI'71

2.8.2 Perhitungan Struktur Bagian Bawah

Struktur bawah dari graving dock meliputi :

- Perhitungan daya dukung pondasi
- Daya dukung tanah tanpa tiang pondasi

2.8.2.1. Pemilihan tiang pancang.

Tipe material untuk tiang pancang meliputi : kayu, beton precast, beton prestress, pipa baja bulat atau kotak, profil baja berbentuk I atau H, dsb.

2.8.2.2. Daya Dukung Tiang Pancang Tekan

Dari hasil penyelidikan tanah (Standart Penetration Test = SPT), Perhitungan daya dukung tanah dari hasil penyelidikan tanah (Standart Penetration Test = SPT), diperoleh data data yang diperlukan untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang.

Metode perumusan yang dipakai adalah metode *LUCIANO DE COURT (1982)*.

$$Q_L = Q_P + Q_S \dots\dots\dots(2 - 20)$$

dimana :

$$Q_L = \text{daya dukung tiang maksimum pada pondasi.} \quad Q_P$$

= resistance ultimate di ujung tiang.

Q_S = resistance ultimate akibat lekatan lateral.

$$Q_{ad} = \frac{Q_L}{SF} \dots\dots\dots(2 - 21)$$

$$Q_P = qp \times Ap = (Np \times K) \times Ap \dots\dots\dots(2 - 22)$$

$$Q_S = qp \times As = \left(\frac{Ns}{SF} + 1 \right) \times As \dots\dots\dots(2 - 23)$$

dimana :

N_p = Harga rata rata SPT di sekitar 4B diatas hingga 4B dibawah dasar tiang pondasi (B = diameter pondasi)

$$N_s = (N_1 + N_2 + N_3)/3 \dots\dots\dots(2 - 24)$$

K = Koefisien karakteristik tanah

- = 12 t/m^2 untuk tanah lempung.
- 20 t/m^2 untuk tanah lanau berlempung.
- 25 t/m^2 untuk tanah lanau berpasir
- 40 t/m^2 untuk tanah pasir.

A_p = Luas penampang dasar tiang = $1/4 \cdot \pi \cdot D^2$.

q_p = Tegangan di ujung tiang.

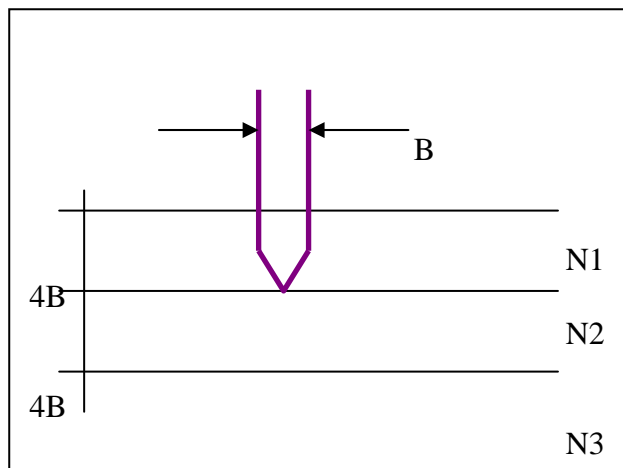
N_s = Harga rata rata sepanjang tiang yang tertanam, dengan batasan
 $3 \leq N \leq 50$

A_s = Keliling x panjang tiang yang terbenam (luas selimut tiang)
 $= \pi \cdot D \cdot L$.

q_s = tegangan lateral lekatan lateral (t/m^2)

SF = angka keamanan $\approx 2-3$

Untuk lebih jelasnya, sketsa daya dukung ujung tiang dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar2.23. Daya Dukung Ujung Tiang

Perhitungan daya dukung tanah dari hasil Sondir menggunakan metode perumusan PHILIPPONNAT :

$$Q_N = (Q_p)_a + (Q_s) \dots\dots\dots(2 - 25)$$

dimana :

$$(Q_P)_a = \frac{A \times q_p}{2}, \text{ dari unsur ujung tiang dengan angka keamanan } 2$$

$$(Q_S)_a = \frac{P}{2} \sum f_{ui} \times h_i, \text{ dari unsur lekatan (friction), dengan angka keamanan } \approx 2.$$

2.8.2.3. Daya Dukung Tiang Pancang Tarik

Pondasi Tiang tarik terjadi apabila tiang tersebut menerima gaya tarik keatas atau gaya tekan keatas sebagai akibat adanya gaya lateral yang bekerja pada gaya uplift pada bangunan graving dock Besarnya daya dukung tanah untuk menahan agar tiang pondasi tidak tertarik atau terangkat keatas adalah :

$$Q_L = Q_P + Q_S ; \text{ karena } Q_P = 0, \text{ maka } Q_L = Q_S \dots\dots\dots(2 - 26)$$

$$Q_u = O \times H \times C_u + W \dots\dots\dots(2 - 27)$$

$$Q_u = (2LH + 2BH) C_u + W, \text{ untuk pile group } \dots\dots\dots(2 - 28)$$

dimana :

Q_u = Total uplift resistance of the pile group.

L = Panjang kelompok/ group.

B = Lebar kelompok

H = Kedalaman block of soil di bawah pile cap.

(sumber : *Daya Dukung Pondasi Dalam, DR,IR. Herman Wahyudi*)

2.8.3 Kalendering

Dari data kalendering dapat dikontrol apakah daya dukung tiang pancang sudah memenuhi syarat atau belum, dengan perumusan sebagai berikut :

Perumusan kalendering yang dipakai adalah Alfred Hiley Formula (1930) yaitu:

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + 0.5C} \times \frac{W + n^2 \cdot W_p}{W + W_p} \dots\dots\dots(2-29)$$

(sumber : Buku “Daya Dukung Pondasi Dalam”, oleh Prof.Dr.Ir. Herman Wahyudi).

dimana :

Q_u = ultimate resistance (bearing capacity) of pile (ton)

α = efficiency of hammer

$\alpha = 2.5$ untuk hydraulic hammer

$\alpha = 1.0$ untuk diesel hammer

$\alpha = 0.75$ untuk drop hammer

W = berat hammer

$W = 2.5$ ton, 3.5 ton dan 4.5 ton -----→ untuk gedung

$W > 4.5$ ton -----→ untuk dermaga

W_p = weight of pile (ton)

H = tinggi jatuh hammer (1.9 m s/d 2 m kondisi normal)

Untuk diesel hammer, nilai H dikalikan 2 (= 2H).

n = coefficient of restitution

- Wood pile, concrete pile = 0.25
- Compact wood cushion on steel pile = 0.32
- Hammer on concrete pile without cap = 0.4
- Hammer on steel pile without cushion = 0.55

S = set atau pile penetration for last blow (cm atau mm/blow)

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

C = total temporary compression (mm) = $C_1 + C_2 + C_3$

C_1 = temporary compression of cushion (pile head dan cap)

Tabel 2.1. Temporary Compression of Cushion (pile head & cap).

Tipe Tiang	Easy Driving <i>P1 = 35 kg/cm²</i>	Medium Driving <i>P1 = 70 kg/cm²</i>	Hard Driving <i>P1 = 105 kg/cm²</i>	Very Hard Driving <i>P1 = 135 kg/cm²</i>
Timber pile	1.27 mm	2.54 mm	3.81 mm	5.08 mm
Concrete pile	0.64 mm	1.27 mm	1.91 mm	2.54 mm
Steel pile	1.02 mm	2.03 mm	3.05 mm	4.06 mm

Sumber : "Daya Dukung Pondasi Dalam" oleh Prof.Dr.Ir Herman Wahyudi

Atau (menurut BSP) :

- Hard cushion = 3 mm
- Hard cushion + packing, soft cushion (timber) = 5 mm
- Soft cushion + packing = 7 mm

C_2 = temporary compression of pile, dapat dihitung menurut perumusan :

$C_2 = (Q_U \cdot L) / (A_P \cdot E_{pile})$ atau

Concrete piles, 400 od = 9 mm s/d 12 mm

500 od = 10 mm s/d 14 mm

Steel piles , 500 od = 7 mm s/d 11 mm

600 od = 8 mm s/d 12 mm

C_3 = temporary compression of soil

Nominal value = 2.5 mm

- Hard ground (SPT ≥ 50) : 0 – 1 mm
- Average ground (SPT 20 – 30) : 2 – 3 mm
- Soft ground (SPT 10 – 20) : 4 – 5 mm

Pemilihan tipe hammer harus didasarkan pada penetrasi per blow (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 / 25 mm, hammer harus segera dihentikan.

2.9. PERHITUNGAN SETTLEMENT

Besarnya penurunan tanah total adalah :

$$S_t = S_i + S_{CP} + S_{CS} + S_{lat} \quad \dots\dots\dots (2. 30)$$

dengan :

S_t = total settlement

S_i = immediat settlement

S_{CP} = consolidation primair settlement

S_{CS} = consolidation secundair settlement

S_{lat} = settlement akibat pergerakan tanah arah lateral

Pada tugas akhir ini, penurunan tanah yang diperhitungkan adalah akibat penurunan segera dan konsolidasi primer sedangkan penurunan akibat S_{CS} umumnya diabaikan karena relatif sangat kecil dan S_{lat} jarang diperhitungkan.

2.9.1. Immediat Settlement (S_i)

Perhitungan penurunan tanah segera, didasarkan pada kondisi lapisan tanah jenuh air ($S_r = 100\%$), tidak ada aliran air dalam tanah (undrained), short term dan bersifat elastis linier. Deformasi yang terjadi berlangsung pada volume tanah konstan ($\Delta V = 0$) atau angka pori (e) konstan.

Giroud (1973), menyajikan sebuah metode sederhana untuk menghitung besarnya immediate settlement (S_i) rata – rata dari suatu timbunan adalah :

$$S_i = \frac{2ap}{E} P_H \quad \text{dengan} \quad \beta = \frac{H}{2a} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

dimana :

$p = \Delta\sigma$ = beban timbunan reklamasi (t/m^2 , kN/m^2)
 = $\gamma \cdot h$ dengan h tinggi timbunan dan γ berat volume timbunan reklamasi ($1.80 - 2.00 t/m^3$, $c' = 0$)

- a = $\frac{1}{2}$ x lebar timbunan rata – rata = $\frac{1}{2}$ x B
- E = modulus elastis young dari tanah asli
- H = tebal lapisan lempung *compressible*
- P_H = koefisien yang tergantung dari β dan μ
- μ = koefisien poisson

Tabel 2.2. Harga-harga Modulus Young.

Jenis Tanah	Modulus Young	
	Psi	KN/m ² *
Lempung lembek	250-500	1380-3450
Lempung keras	850-2000	5865-13800
Pasir lepas	1500-4000	10350-27600
Pasir padat	5000-10000	34500-69000

*1 psi = 6.9 KN/m²

(Sumber: *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I, Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar*)

Tabel 2.3. Koefisien P_H (Giroud,1973).

β	Koefisien Poisson, μ					
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0	0	0	0	0	0	0
0,1	0,098	0,095	0,087	0,073	0,048	0,007
0,2	0,191	0,187	0,170	0,145	0,099	0,026
0,3	0,284	0,278	0,252	0,217	0,153	0,055
0,4	0,366	0,357	0,330	0,284	0,208	0,090
0,5	0,446	0,433	0,403	0,349	0,260	0,129
0,6	0,520	0,505	0,471	0,413	0,312	0,167
0,7	0,588	0,569	0,532	0,471	0,364	0,209
0,8	0,651	0,628	0,595	0,525	0,411	0,248
0,9	0,713	0,686	0,652	0,576	0,457	0,284
1	0,772	0,741	0,707	0,624	0,501	0,320
1,1	0,821	0,788	0,756	0,670	0,540	0,353
1,2	0,869	0,838	0,801	0,711	0,579	0,386
1,3	0,912	0,882	0,843	0,752	0,615	0,418
1,4	0,956	0,929	0,883	0,791	0,648	0,449
1,5	0,998	0,974	0,921	0,825	0,680	0,476
2	1,170	1,144	1,083	0,982	0,823	0,597
2,5	1,308	1,280	1,213	1,104	0,935	0,695
3	1,416	1,388	1,319	1,206	1,029	0,778

4	1,591	1,563	1,493	1,370	1,180	0,914
5	1,743	1,715	1,635	1,498	1,301	1,021
10	2,177	2,141	2,050	1,894	1,666	1,346
20	2,612	2,569	2,468	2,293	2,034	1,674
∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Tabel 2.4. Harga-harga angka Poison

Jenis tanah	Angka Poison, μ
Pasir lepas	0.2-0.4
Pasir agak padat	0.25-0.4
Pasir padat	0.3-0.45
Pasir berlanau	0.2-0.4
Lempung lembek	0.15-0.25
Lempung agak kaku	0.2-0.5

(Sumber: *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I, Braja M.Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar*)

2.9.2. Primary Consolidation settlement (S_{CP})

Berlawanan dengan immediat settlement, maka primary consolidation settlement (S_{CP}) berlangsung drained dan long term. Besarnya penurunan tanah akibat konsolidasi primer (S_{CP}) dari tanah lempung, tergantung dari sejarah tanahnya yaitu normally consolidated (NC) atau over consolidated (OC). Tanah di dasar laut tergolong dalam kondisi normally consolidated.

Kondisi normally consolidated :

$$S_{CP} = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(1 + \frac{\Delta \sigma}{\sigma'_o} \right) \dots\dots\dots (2.32)$$

Apabila lapisan tanah yang memampat (compressible layer) sangat tebal, maka perhitungan besarnya penurunan konsolidasi dilakukan lapis demi lapis (lapisan yang memampat dibagi menjadi beberapa lapis yang tipis). Lapisan tanah dibagi menjadi n lapisan horisontal (*Aris & Panaghiotis, 1985*). Untuk itu persamaan diatas berubah menjadi :

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{C_c * H}{1 + e_0} * \log \left(\frac{\sigma_{vo} + \Delta \sigma_{v'}}{\sigma_{vo'}} \right)_i * h_i \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

dimana :

- H = tebal lapisan lempung (*compressible soil*)
- e_o = angka pori awal (*initial void ratio*)
- C_c = compression index
- Δσ = surcharge (*besarannya tegangan di muka tanah*)
- σ'_o = overburden pressure efektif
- n = banyaknya lapisan

2.9.3. Perhitungan Waktu Penurunan

Lamanya penurunan tanah (t) dapat diperoleh dari perumusan berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot H_d^2}{C_v} \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

dimana : T_v = faktor waktu, tergantung dari derajat konsolidasi U

C_v = koefisien konsolidasi vertikal (cm²/s)

H_d = panjang aliran air drainage di dalam tanah

- H_d = ½ H (bila aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah)
- H_d = H (bila arah aliran drainagenya satu arah)

Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya dibawah lapisan lempung tersebut, merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*)

Koefisien Konsolidasi Vertikal C_v dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$C_v = \frac{0.197 (H/2)^2}{t_{50}} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen maka harga C_v yang dipakai dalam perhitungan adalah harga C_v rata – ratanya, yaitu :

$$C_v \text{ rata - rata} = \frac{(\sum_i h_i)^2}{\left[\begin{matrix} h_i \\ \end{matrix} \right]^2} \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\sum_i \sqrt{C_{vi}}$$

dengan : h_i = tebal lapisan i
 C_{vi} = harga C_v di lapisan i

2.10. METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan itu dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :

1. Pekerjaan persiapan yang meliputi Pembersihan lahan, pemasangan site pile.
2. Pekerjaan konstruksi meliputi pengerukan, pekerjaan struktur, dan lain-lain.
3. Pekerjaan finishing.

2.11. ANALISA BIAYA

Analisa biaya ini meliputi :

1. Estimasi biaya penggalian
 Estimasi ini meliputi:
 - sewa alat
 - Upah pekerja
2. Estimasi biaya perataan
 Estimasi ini meliputi:
 - sewa alat
 - Upah pekerja
3. Estimasi biaya pilling
 Estimasi ini meliputi:
 - Estimasi bahan
 - sewa alat
 - Upah pekerja
4. Estimasi biaya pemasangan lapisan drainase
 Estimasi ini meliputi:
 - Estimasi bahan

- sewa alat
- Upah pekerja

5. Estimasi biaya pekerjaan beton

Estimasi ini meliputi:

- Estimasi bahan
- sewa alat
- Upah pekerja

6. Estimasi biaya pengurangan

Estimasi ini meliputi:

- Estimasi bahan
- sewa alat
- Upah pekerja

Gambar 2.1.. Heavy Dock.....	16
Gambar 2.2.. Anchored Dock	17
Gambar 3.3. Drainage Dock.....	17
Gambar 2.4. Peralatan currentmeter.....	19
Gambar 2.5. Sketsa jenis-jenis terjadinya pasang surut.....	21
Gambar2.6. Kebutuhan Kedalaman Kolam Pelabuhan	23
Gambar 2.7. Komposisi Tanah Saturated	25
Gambar 2.8. -Pembebanan kondisi 1	26
Gambar 2.9. Pembebanan kondisi 2.....	27
Gambar 2.10. Pembebanan kondisi 3.....	27
Gambar 2.11. Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal	30
Gambar 2.12. Tegangan tanah pada keadaan diam.....	31
Gambar 2.13. Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam.	32
Gambar 2.14. Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam untuk tanah terendam sebagian.....	33
Gambar 2.15.. Diagram tekanan keadaan aktif.	35
Gambar 2.16. Distribusi tekanan tanah lateral pada keadaan diam untuk tanah non kohesif yang terendam air sebagian dan diberi beban luar (surcharge).	36
Gambar 2.17. Diagram tekanan aktif pada tanah kohesif.	37
Gambar 2.18.. Diagram tekanan lateral pasif untuk tanah kohesif.	38
Gambar 2.19. Beban kapal	40
Gambar2 20. Distribusi Beban Plat pada Balok.....	42
Gambar 2.21. Beban Segitiga.....	42
Gambar 2.22. Beban Trapesium.....	43
Gambar2.23. Daya Dukung Ujung Tiang	48
Tabel 2.1. Temporary Compression of Cushion (pile head & cap).	51
Tabel 2.2. Harga-harga Modulus Young.	53
Tabel 2.3. Koefisien P_H (Giroud,1973).	53
Tabel 2.4. Harga-harga angka Poison	54

BAB III

PENGUMPULAN DAN ANALISA DATA

3.1. UMUM

Dalam perencanaan detail struktur graving dock ini diperlukan data – data teknis mengenai kondisi di lapangan sehingga dapat diketahui seluruh pola dan karakteristik gaya alam yang bekerja pada struktur, dengan harapan agar hasil perencanaan dan realisasi di lapangan tidak menyimpang jauh dan didapatkan hasil konstruksi yang optimal seperti yang diinginkan. Data-data teknis yang diperlukan adalah data bathymetri, hydro-oceanography dan data tanah. Data-data sekunder tersebut lebih detailnya dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.2. DATA BATHYMETRI

Pengenalan keadaan kontur dasar laut sangat diperlukan sebagai data dasar untuk :

- Penentuan bentuk face line lay out areal reklamasi, serta kebutuhan metode reklamasi
- Estimasi kedalaman perairan dan bentuk kontur terakhir di lokasi sehingga dapat disediakan perairan yang aman untuk kapal, dan perencanaan struktur dermaga dapat dilakukan secara tepat.

3.3. DATA HYDRO-OCEANOGRAFI

Data hidrooceanografi nantinya akan diperlukan dalam memonitoring pendangkalan. Data hidro-oceanografi tersebut meliputi :

3.3.1.Data Arus

Kegunaan data arus pada perencanaan graving dock dalam tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara kecepatan dan arah arus terhadap pergerakan pasang surut, disamping sebagai salah satu parameter dalam perhitungan sedimentasi dan untuk menentukan kemudahan manuver kapal menuju lokasi graving dock rencana.

Data arus diambil berdasarkan hasil pengukuran yang diwakilkan oleh *Survei Hidrografi di Perairan Peti Kemas Tanjung Perak Surabaya, Jawa Timur yang dilakukan oleh Departemen Perhubungan. PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero) Bagian Proyek Studi, Detil Disain dan Prasarana Pelabuhan,* mengingat lokasinya tidak jauh dari lokasi graving dock rencana yang berada di kawasan TNI – AL, serta sama-sama menghadap selat Madura. Pengukuran arus dilakukan pada kedalaman 0.2d, 0.6d, 0.8d (three points methods) yang dilakukan selama 25 jam pada saat spring tide (tanggal 04 - 05 Mei 2003) dan neap tide (tanggal 10 – 11 Mei 2003).

- Pada saat spring tide, secara umum hasil pengukuran menunjukkan arah dominan timur laut - barat daya dengan kecepatan arus maksimum sebesar 0.03 m/dtk pada kedalaman 0.2d, 0.6d dan kecepatan maksimum 0.02 m/dtk pada kedalaman 0.8d.
- Pada saat neap tide, secara umum hasil pengukuran menunjukkan arah dominan timur laut - barat daya dengan kecepatan arus maksimum sebesar 0.21 m/dtk pada kedalaman 0.2d, kecepatan maksimum 0.19 m/dtk pada kedalaman 0.6d, dan kecepatan maksimum 0.18 m/dtk pada kedalaman 0.8d.

Harga rata- rata V_u dan V_t merupakan harga dari arus tetap, maka:

$$V_u = \frac{V_{u1} + V_{u2} + V_{u3} + \dots + V_{un}}{n}$$

$$V_t = \frac{V_{t1} + V_{t2} + V_{t3} + \dots + V_{tn}}{n}$$

Sehingga didapat :

$$V_u = \frac{0.03 + 0.03 + 0.02}{3} = 0.027 \text{ m/dt}^2$$

$$V_t = \frac{0.21 + 0.19 + 0.18}{3} = 0.193 \text{ m/dt}^2$$

Kesimpulannya kecepatan arus yang terjadi pada saat pasang dan pada saat surut sangat kecil ($V \leq 2 \text{ m/s}^2$), sehingga lokasi tempat dibangunnya graving dock dinilai cukup aman.

3.3.2. Data Pasang Surut

Data pasang surut diperoleh dari buku *Kepanduan Bahari hasil survei Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL tahun 2002*. Data diambil pada alur pelayaran Surabaya (Pelabuhan) pada posisi $07^{\circ}2'$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}7'$ Bujur Timur.

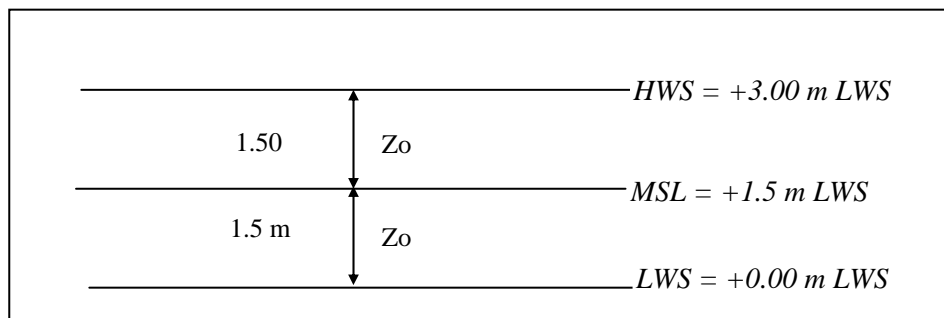
Data pasang surut yang terjadi dilapangan diperoleh bentuk pasang surut adalah campuran diurnal dan semi diurnal, tinggi air saat neap tide adalah +0,63 mLWS dan saat spring tide adalah + 3,65 mLWS.

Ramalan gerakan pasang surut diberikan terhadap muka surutan atau muka peta (Zo) dari Air Rendah Perbani (ARP), dimana besarnya gerakan pasang surut terhadap suatu Muka Surutan (Zo) adalah 1.5 m.

Dari besaran $Z_o = 1.5 \text{ m}$ diatas kita dapat menyimpulkan kedudukan air sebagai berikut:

- HWS (*High Water Surface*) = + 3.63 m LWS
- MSL (*Mean Sea Level*) = + 2.13 m LWS
- LWS (*Low Water Surface*) = + 0.63 m LWS
-

Agar lebih jelas, kedudukan muka air dapat dilihat seperti Gambar 3.2



Gambar 3.1. Kondisi pasang surut air laut

3.3.3. Data Sample Air dan Sedimen

Hasil analisa laboratorium terhadap sample air dan sample sedimen yang dilakukan pengambilan pada saat spring tide tanggal 05 Mei 2003, sekitar jam 06.00-06.45 dan saat neap tide tanggal 11 Mei 2003, sekitar jam 06.00-06.45 antara lain :

3.3.3.1 Sampel Air

- Pada kondisi spring tide hasil laboratorium menunjukkan harga salinitas maksimum 27.1‰ pada kedalaman 0.2d dan 0.8d dengan suspended (TSS) maksimum 106 mg/l pada kedalaman 0.2d.
- Pada kondisi neap tide hasil laboratorium menunjukkan harga salinitas maksimum 27.1‰ pada kedalaman 0.2d dan 0.8d dengan suspended (TSS) maksimum 106 mg/l pada kedalaman 0.2d.
-

3.3.3.2 Sampel Sedimen

- Pada kondisi spring tide, materialnya lempung lanau (lempung 56%, lanau 44% dan pasir 4%), dengan nilai specific gravity 2.51 t/m^3 .
- Pada kondisi neap tide, materialnya lempung lanau (lempung 56%, lanau 37% dan pasir 7%), dengan nilai specific gravity 2.54 t/m^3 .

3.4. DATA LAPISAN TANAH DASAR

Data tanah yang digunakan untuk mengetahui parameter γ , Φ , dan C dalam tugas akhir ini diambil dari *Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001*.

Data tanah tersebut diambil dari hasil Percobaan Triaxial Compression Test, Consolidation Test, Atterberg Test, dan Grain Size Analysis pada titik BH1-BH5.

Untuk lebih lengkapnya, hasil analisa test laboratorium tersebut diperoleh parameter – parameter yang dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5. Dari hasil data tanah dapat diketahui bahwa jenis tanah pada daerah tersebut adalah : *soft & very soft clay*.

Data tanah dasar dapat dilihat pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5. tepatnya pada lokasi titik BH 1-BH5. Untuk memperoleh parameter yang dibutuhkan dilakukan analisa statistik untuk mendapat harga rata-rata.

Tabel 3.1. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 1 .

Depth (m)	W _n %	γ_n t/m ²	G _s t/m ³	TRIAXIAL TEST				CONSOLIDATION TEST				ATTERBERG TEST				GRAIN SIZE ANALYSIS				Symbol
				ϕ °	C	ϕ'	C'	e _o	C _c	C _v cm ² /sec	k cm ² /sec	W _L %	W _p %	I _p %	SL %	gravel %	sand %	silt %	clay %	
0 - 5,6			2.59									92.00	43.84	48.16	-	-	6	38	56	CH
5,6 -6	40.03	1.560	2.63	3	0.029	-	-	1.36	0.31	0.000472	-	89.15	29.93	59.22	-	-	12	43	45	CH
6-9			2.66									76.50	31.26	45.24	-	-	9	40	51	CH
9 - 11,6			2.70									64.20	33.83	30.37	-	-	12	39	49	MH
11,6- 12	55.83	1.456	2.65	2	0.057	-	-	1.46	0.38	0.000884	-	107.25	36.16	71.09	-	-	14	29	57	CH
12-13			2.60									85.10	38.87	46.23	-	-	8	37	55	CH

(Sumber : Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa

Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001).

Tabel 3.2. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 2 .

Depth (m)	W _n %	γ_n t/m ²	G _s t/m ³	TRIAXIAL TEST				CONSOLIDATION TEST				ATTERBERG TEST				GRAIN SIZE ANALYSIS				Symbol
				ϕ °	C	ϕ'	C ϕ	e _o	C _c	C _v cm ² /sec	k cm ² /sec	W _L %	W _P %	I _p %	SL %	gravel %	sand %	silt %	clay %	
0 - 5,6			2.58									93.60	44.96	48.64	-	-	10	34	56	CH
5,6 -6	88.90	1.527	2.67	0.5	0.051	-	-	2.31	0.68	0.000628	-	114.40	47.83	66.57	-	-	13	41	46	MH
6-11.6			2.60									82.20	38.82	43.38	-	-	7	32	61	CH
11.6-12	76.71	1.514	2.66	1	0.033	-	-	2.11	0.64	0.000255	-	74.60	32.13	42.47	-	-	14	31	55	CH
12-14			2.69									79.25	42.13	37.12	-	-	11	42	47	MH
14-18.45			2.75									-	-	-	-	-	82	17	1	-

(Sumber : Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001).

Tabel 3.3. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 3 .

Depth (m)	W _n %	γ _n t/m ²	G _s t/m ³	TRIAXIAL TEST				CONSOLIDATION TEST				ATTERBERG TEST				GRAIN SIZE ANALYSIS				Symbol
				φ	C	φ'	Cφ	e _o	C _c	C _v cm ² /sec	k cm ² /sec	W _L %	W _P %	I _p %	SL %	gravel %	sand %	silt %	clay %	
0-2.6			2.60									89.20	34.93	54.27	-	-	7	36	57	CH
2.6-3	80.18	1.458	2.63	0.5	0.049	-	-	2.36	0.61	0.000767	-	94.45	39.08	55.37	-	-	11	30	59	CH
3-8.6			2.59									70.00	28.83	41.17	-	-	6	32	62	CH
8.6-9	76.75	1.468	2.58	1	0.034	-	-	2.10	0.67	0.000479	-	82.30	29.76	52.54	-	-	4	28	68	CH
9-12.45			2.70									64.10	32.44	31.66	-	-	38	29	33	MH
12.45-18.45			2.75									59.50	30.75	28.75	-	-	46	26	28	CH

(Sumber : Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001).

Tabel 3.4. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 4 .

Depth (m)	W _n %	γ _n t/m ²	G _s t/m ³	TRIAXIAL TEST				CONSOLIDATION TEST				ATTERBERG TEST				GRAIN SIZE ANALYSIS				Symbol
				φ	C	φ'	C'	e _o	C _c	C _v cm ² /sec	k cm ² /sec	W _L %	W _p %	I _p %	SL %	gravel %	sand %	silt %	clay %	
0-2.6			2.57									90.70	37.43	53.27	-	-	5	31	64	CH
2.6-3	98.72	1.365	2.55	-	-	-	-	2.72	0.74	0.000173	-	85.00	30.71	54.29	-	-	3	29	68	CH
3-8.6			2.60									72.10	28.82	43.28	-	-	9	36	55	CH
8.6-9	86.21	1.393	2.63	0.5	0.059	-	-	2.07	0.69	0.000427	-	97.15	36.25	60.90	-	-	6	33	61	CH
9-12.45			2.69									63.40	33.86	29.54	-	-	12	40	48	MH
12.45-15.45			2.71									57.20	31.93	25.27	-	-	45	35	20	MH
15.45-18.45			2.75									-	-	-	-	-	95	4	1	-

(Sumber : Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001).

Tabel 3.5. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 5 .

Depth (m)	W _n %	γ _n t/m ²	G _s t/m ³	TRIAXIAL TEST				CONSOLIDATION TEST				ATTERBERG TEST				GRAIN SIZE ANALYSIS				Symbol
				φ	C	φ'	Cφ	e _o	C _c	C _v cm ² /sec	k cm ² /sec	W _L %	W _P %	I _p %	SL %	gravel %	sand %	silt %	clay %	
0-2,6			2,74									54,90	30,21	24,69	-	-	48	30	22	MH
2,6-3	7,70	1,455	2,67	1.5	0,04	-	-	1,92	0,52	0,00078	-	99,10	47,3	51,80	-	-	8	50	42	MH
3-6			2,62									88,50	36,35	52,15	-	-	4	41	55	CH
6-8,6			2,65									75,80	31,88	43,92	-	-	7	39	5	CH
8,6-9	95,37	1,470	2,60	-	-	-	-	2,46	0,65	0,00025	-	83,25	28,31	54,92	-	-	9	38	53	CH
8,6-10			2,63									72,40	29,12	43,28	-	-	5	36	59	CH
10-12,45			2,65									60,70	28,25	32,45	-	-	12	34	54	CH

(Sumber : Hasil Analisa Laboratorium Pemboran Inti di Rencana Pelabuhan PELNI Bulak Banteng Surabaya, Jawa

Timur, Bagian Proyek Studi dan Pengembangan Pelabuhan PELNI, Juni 2001).

Berikut adalah contoh perhitungan statistik dalam menentukan harga γ_{tanah} pada titik BH1 di kedalaman 0 - 6 m.

Dari perhitungan didapat :

- Harga rata – rata : 1.56 ton/m³
- Jumlah sampel : 5
- Standard deviasi : 0.002
- Koefisien variasi (CV) : $Sd/rata-rata \times 100 \%$
: $\frac{0.002}{1.56} \times 100 \% = 1,28 \%$

Karena selisih nilai parameter-parameternya antara satu titik dengan titik yang lainnya (Standart deviasinya) lebih kecil dari 20%, maka dari data tanah tersebut diatas diambil harga rata-rata dari kelima sample titik.

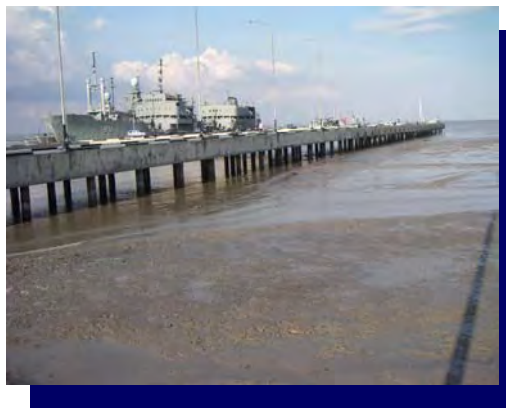
3.5. KONDISI LAPANGAN

Dari data-data yang diperoleh diketahui bahwa lapangan memiliki kondisi tanah yang lunak. Secara umum lokasi ini seperti kolam besar yang terlindung, ditambah dengan adanya breakwater alami yaitu pulau Madura, maka gelombang yang terjadi di lokasi ini relatif kecil.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5 yang menampilkan foto-foto kondisi lapangan di pelabuhan TNI AL pada sisi timur (lokasi proyek).



Gambar 3.2. Dasar laut pada saat surut di selatan dermaga timur



Gambar 3.3. Dasar laut pada saat surut di selatan dermaga timur



Gambar 3.4. Kondisi dasar laut areal proyek pada saat surut



Gambar 3.5. Sisa kepala pondasi lama

Gambar 3.1. Kondisi pasang surut air laut.....	61
Gambar 3.2. Dasar laut pada saat surut di selatan dermaga timur	69
Gambar 3.3. Dasar laut pada saat surut di selatan dermaga timur	69
Gambar 3.4. Kondisi dasar laut areal proyek pada saat surut	69
Gambar 3.5. Sisa kepala pondasi lama.....	70

Tabel 3.1. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 1	63
Tabel 3.2. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 2	64
Tabel 3.3. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 3	65
Tabel 3.4. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 4	66
Tabel 3.5. Analisa Hasil Test Percobaan di Laboratorium Titik BH 5	67

BAB IV

KRITERIA DISAIN

4.1. PERATURAN YANG DIGUNAKAN

Peraturan yang digunakan dalam Perencanaan Graving Dock di kawasan Pangkalan TNI-AL di Kecamatan Semampir Kota Surabaya adalah :

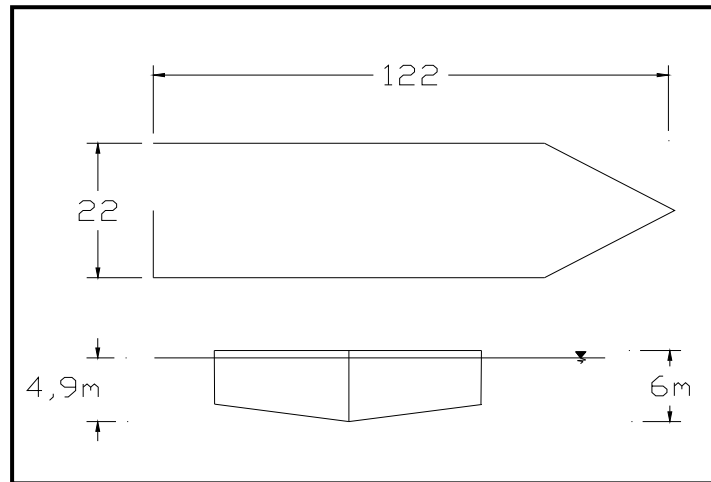
- Peraturan Pembebanan Indonesia 1983.
- Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1983.
- *Standart Design Criteria For Port in Indonesia*, Januari 1984.
- Peraturan Beton Indonesia 1971 dan Perhitungan Lentur dengan cara “n”
- Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan, BMS 1992.
- Konstruksi Beton Indonesia, Ir Sutami.

4.2. DISAIN KAPAL RENCANA

Kapal yang direncanakan untuk graving dock ini adalah kapal perang Armatim TNI –AL yang sekelas KRI Tanjung Dalpele dengan ukuran sebagai berikut :

- Dead Weight Tonnage : 4000 DWT
- Panjang kapal (Ld) : 122 m
- Lebar (Bd) : 22 m
- Full Draught : 4,9 m
- Empty Draught : 3,14 m

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.1



Gambar 4.1.. Dimensi Kapal Rencana.

4.3. KUALITAS MATERIAL DAN DESAIN STRUKTUR

Pemilihan kualitas material struktur direncanakan sebagai berikut :

➤ *Mutu Beton K-300*, $\sigma'_{bk} : 300 \text{ kg/cm}^2$ (PBI'71 Tabel 10.4.2)

- Modulus elastisitas beton $Ec' = 6400\sqrt{\sigma'_{bk}}$ (PBI'71 pasal 11.1.1)
 $= 6400\sqrt{300} = 110851 \text{ kg/cm}^2$

$$n = \frac{Es}{Ec} = \frac{2,1 \times 10^6}{110851} = 18,94$$

- Tegangan ijin beton $\bar{\sigma}'_b = 0,33\sigma'_{bk}$ (PBI'71 Tabel 10.4.2)
 $= 0,33 \times 300 = 99 \text{ kg/m}^2$

➤ *Mutu Baja Tulangan*

- Untuk tulangan diameter $\leq 12 \text{ mm}$, berdasarkan *Peraturan Perencanaan Teknik, BMS 1992, Tabel 6.12 pasal 2.2* digunakan tulangan grade U-24 dengan tegangan leleh minimum, $f_{sy} = 240 \text{ Mpa}$.

Mutu baja tulangan U-24, dengan spesifikasi:

$$\bar{\sigma}_a = 1400 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI Tabel 10.4.1})$$

$$\sigma_{au} = 2080 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI Tabel 10.4.3})$$

$$\phi_n = \frac{\bar{\sigma}_a}{(n \cdot \bar{\sigma}_b)} = \frac{1400}{18,94 \times 99} = 0,75$$

- Untuk tulangan diameter / 13 mm, berdasarkan *Peraturan Perencanaan Teknik, BMS 1992, Tabel 6.12 pasal 2.2* digunakan tulangan grade U-39 dengan tegangan leleh minimum, $f_{sy} = 390$ Mpa.

Mutu baja tulangan U-39, dengan spesifikasi:

$$E_a = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI Pasal 10.9.1})$$

$$\bar{\sigma}_a = 2250 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI Tabel 10.4.1})$$

$$\sigma_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_n = \frac{\bar{\sigma}_a}{n \sigma_b} = \frac{2250}{18,94 \times 99} = 1,2 \quad (\text{PBI Tabel 10.4.3})$$

- Diameter tulangan : $\emptyset 12, \emptyset 16$ mm \rightarrow U-24
: D 25 mm \rightarrow U-39

➤ *Selimut Beton*

Tebal selimut beton direncanakan menurut standard yang ada adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Tebal Selimut Beton Minimum.

Elemen	PBI 1971	SKSNI	BMS
Pelat	1.5 cm	4 cm	7 cm
Balok	2.5 cm	4 cm	7 cm

Keterangan :

- Peraturan Beton Indonesia (PBI) 1971 Pasal 7.2.4
- SK SNI T-15-1991-05 Pasal 3.16.7
- Bridge Management System (BMS) 1992, table 6.6

Dalam perencanaan graving dock ini tebal selimut beton dipakai 7,5 cm.

Perhitungan penulangan dilakukan berdasarkan perhitungan lentur cara 'n' pada PBI '71. Berikut desain dimensi struktur dermaga yang akan dipakai :

- panjang graving dock : 130 m
- lebar graving dock : 30 m
- tebal plat box culvert : 20 cm
- tebal plat lantai : 120 cm
- balok memanjang : 50 cm x 80 cm
- balok melintang : 50 cm x 80 cm
- diameter tiang pancang beton : ϕ 60
- selimut beton : 7.5 cm

4.4. PENENTUAN JENIS GRAVING DOCK

Struktur graving dock harus memiliki kestabilan terhadap gaya – gaya hidrostatik yang berupa uplift yang bekerja pada struktur.

Seperti yang telah disebut pada landasan teori diatas, pada dasarnya terdapat tiga jenis dari graving dock. Masing- masing jenis graving dock memiliki keuntungan dan kerugian sendiri- sendiri. Keuntungan dan kerugian tersebut nantinya akan menjadi pertimbangan dalam penentuan tipe graving dock.

Sistem penilaian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bobot dari masing-masing pertimbangan adalah dirinci sebagai berikut:
 - a. Pertimbangan teknis :
 - Perencanaan 15 %
 - Struktur Dinding 15 %
 - Struktur Lantai 20 %
 - Struktur Tiang Pancang 15 %
 - b. Pertimbangan biaya
 - Metode Pelaksanaan 10 %

- Biaya 10 %
- Maintenance/ Operasional 15 %

2. Skala nilai yang digunakan adalah 1 – 3 dengan rincian sebagai berikut :

- 1 = besar / sulit / mahal
- 2 = agak besar / agak sulit / agak mahal
- 3 = cukup
- 4 = agak kecil / agak mudah / agak mahal
- 5 = kecil / mudah / murah

Dari uraian-uraian di atas kemudian dianalisa untuk mendapatkan alternative yang terbaik. Analisa pemilihan tersebut disajikan pada Table

4.2. berikut ini :

Tabel 4 2. Kriteria Pemilihan Type Dock

Pertimbangan	Aspek yang ditinjau	Bobot (%)	Gravity Dock		Anchored Dock		Drainage Dock	
			Nilai	Bobot*Nilai	Nilai	Bobot*Nilai	Nilai	Bobot*Nilai
Pertimbangan	Perencanaan	15	3	0,45	2	0,30	1	0,15
Teknis	Struktur Dinding	15	1	0,15	3	0,45	4	0,60
	Struktur Lantai	20	1	0,20	3	0,60	3	0,60
	Struktur Tiang Pancang	15	5	0,75	3	0,45	5	0,75
Pertimbangan	Metode Pelaksanaan	10	3	0,30	2	0,20	2	0,20
Ekonomis	Biaya	10	1	0,10	3	0,30	2	0,20
	Maintenance/Operasional	15	3	0,45	3	0,45	1	0,15
TOTAL		100		2,40		2,75		2,65

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel diatas, type Anchored dock memberikan keuntungan lebih dibanding kan type Gravity dock dan Drainage dock. Oleh karena itu type graving dock yang digunakan adalah type anchored dock, dengan konstruksi tiang pancang sebagai penahan gaya uplift.

4.5. KRITERIA PEMBEBANAN

Struktur graving dock direncanakan struktur yang berdiri sendiri sehingga tidak membebani/ terbebani struktur lainnya, sehingga dalam perhitungan beban hanya dihitung dari beban yang bekerja di struktur graving dock saja.

Beban-beban yang bekerja pada struktur graving dock ini antara lain :

4.5.1. BEBAN VERTIKAL

1. Beban Mati (Berat Sendiri).

2. Beban hidup merata

- Beban merata akibat muatan (beban pangkalan)
 - Untuk keadaan normal, $q_p = 3 \text{ t/m}^2$
 - Untuk keadaan saat gempa, $q_p = 1,5 \text{ t/m}^2$
- Diambil $q_p = 3 \text{ t/m}^2$
- Beban air hujan = $0,05 \times 1 \text{ t/m}^2 = 0.005 \text{ t/m}^2$

3. Beban Kapal

Beban kapal adalah beban kapal terbesar yang membebani struktur graving dock pada saat *Ship Building ataupun Ship Repair*, yaitu 4.000 DWT

4. Uplift

$$q_{\text{uplift}} = \gamma_w \times h^2 \text{ t/m}^2.$$

5. Tekanan air di dalam graving dock

Beban air yang ada di dalam graving dock merupakan beban hidup, karena tidak membebani struktur graving dock secara terus menerus. Tekanan air di dalam graving dock terbagi dalam dua kondisi, yaitu saat air di dalam dock penuh, dan saat dock dalam keadaan kosong. Pada saat dock dalam keadaan kosong, air di dalam dock dibiarkan tergenang setinggi balok keel.

$$\sigma_h = K a_w \times \gamma_w \times h$$

4.5.2 BEBAN LATERAL

Perhitungan distribusi beban lateral yang bekerja pada struktur graving dock dilakukan pada tiap kedalaman karena kondisi tanah dan air yang ditinjau mempunyai kedalaman yang berbeda.

1. Tekanan Tanah Lateral

$$\sigma_h = \gamma_{\text{sat}} \cdot h \cdot K_a$$

2. Tekanan Hidrostatik Air

$$\sigma_h = K_a \times \gamma_w \times h$$

3. Beban merata diatas tanah

$$\sigma_h = K_a \times q$$

4.5.3. BEBAN GEMPA

Pembebanan akibat gempa didasarkan pada PPTGIUG 1983, dengan memakai metoda analisa beban statik ekuivalen, perumusan yang dipergunakan sebagai berikut :

$$V = C \times I \times K \times W_{\text{total}}$$

dimana :

C = koefisien gempa dasar.

I = faktor keutamaan bangunan

K = faktor jenis struktur

Wt = berat sendiri bangunan

4.6. KOMBINASI BEBAN

4.6.1. Kondisi 1

Dalam kondisi ini beban-beban yang bekerja adalah :

- Beban horizontal :
 - Tekanan tanah lateral.
 - Tekanan hidrostatik air
 - Beban Gempa
- Beban vertikal :

- Uplift
- Berat struktur.
- Beban merata dipermukaan.

4.6.2. Kondisi 2

Dalam kondisi ini beban-beban yang bekerja adalah :

- Beban horizontal :
 - Tekanan tanah lateral.
 - Tekanan hidrostatik air
 - Beban Gempa
- Beban vertikal :
 - Uplift
 - Berat struktur
 - Beban merata dipermukaan
 - Beban kapal.

4.6.3. Kondisi 3

Dalam kondisi ini beban-beban yang bekerja adalah :

- Beban horizontal :
 - Tekanan tanah lateral.
 - Tekanan hidrostatik air dari luar.
 - Tekanan hidrostatik air dari dalam.
 - Beban Gempa.
- Beban vertikal :
 - Uplift
 - Berat struktur
 - Beban kapal
 - Beban merata dipermukaan
 - Berat air didalam graving dock

Dengan program bantu SAP 2000 didapat nilai momen maksimum dari ketiga kondisi graving dock.

- Kondisi paling kritis untuk lantai adalah : Kondisi 1

- Kondisi paling kritis untuk dinding adalah : Kondisi 1

Untuk itu dalam kombinasi pembebanan nantinya harus mempertimbangkan graving dock dalam kondisi 1, untuk mendapatkan keadaan yang paling berbahaya.

Kriteria Disain

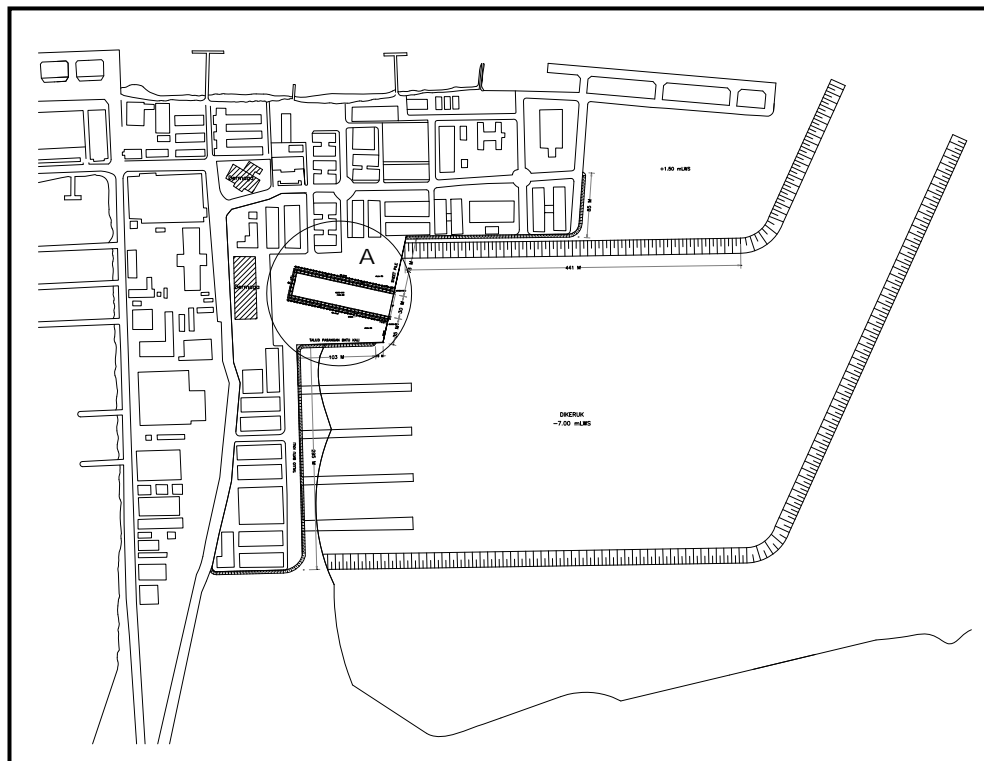
Gambar 4.1.. Dimensi Kapal Rencana.....	72
Tabel 4.1. Tebal Selimut Beton Minimum.....	73
Tabel 4 2. Kriteria Pemilihan Type Dock.....	75

BAB V

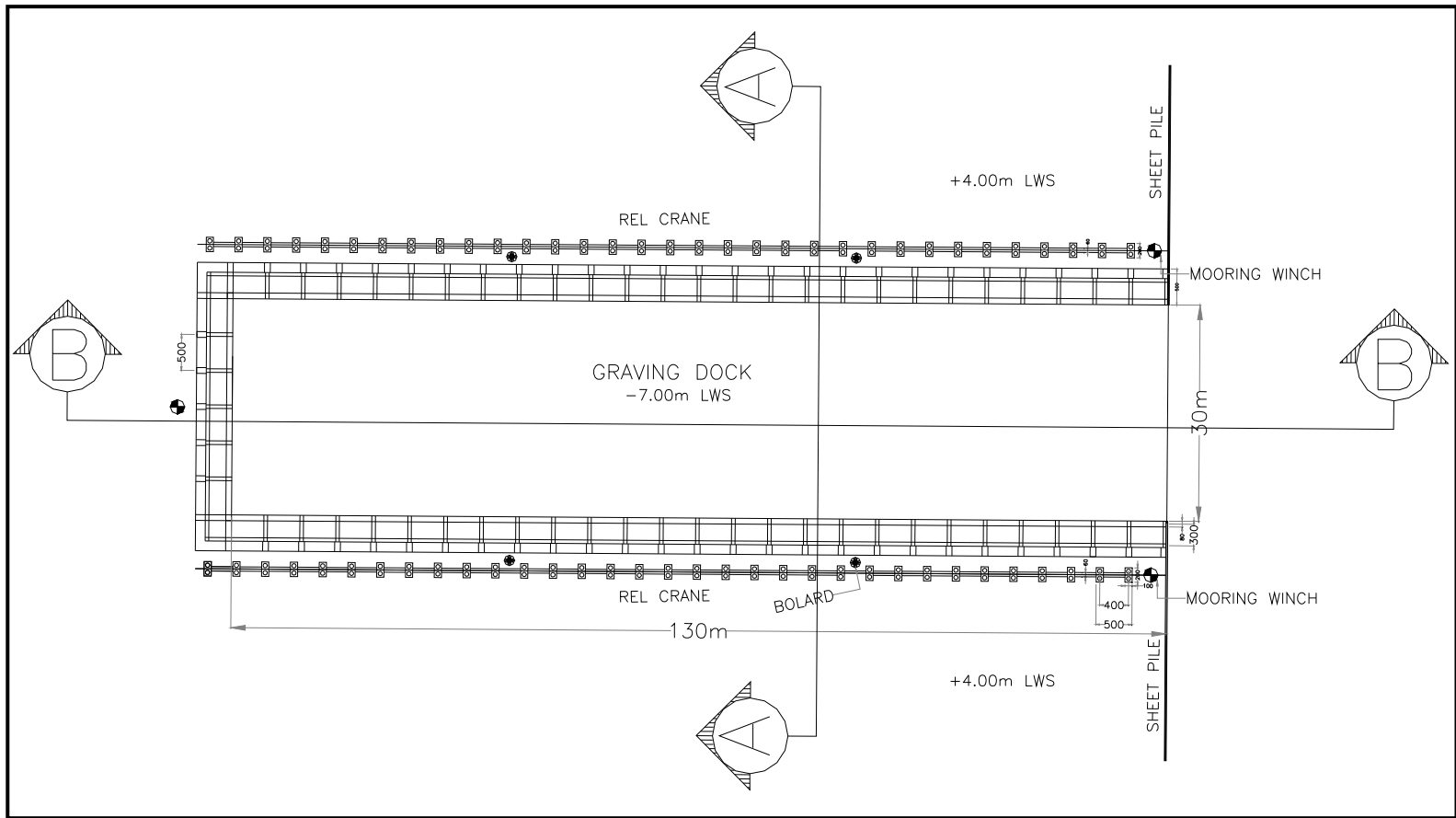
PERHITUNGAN STRUKTUR

5.1. LAY OUT

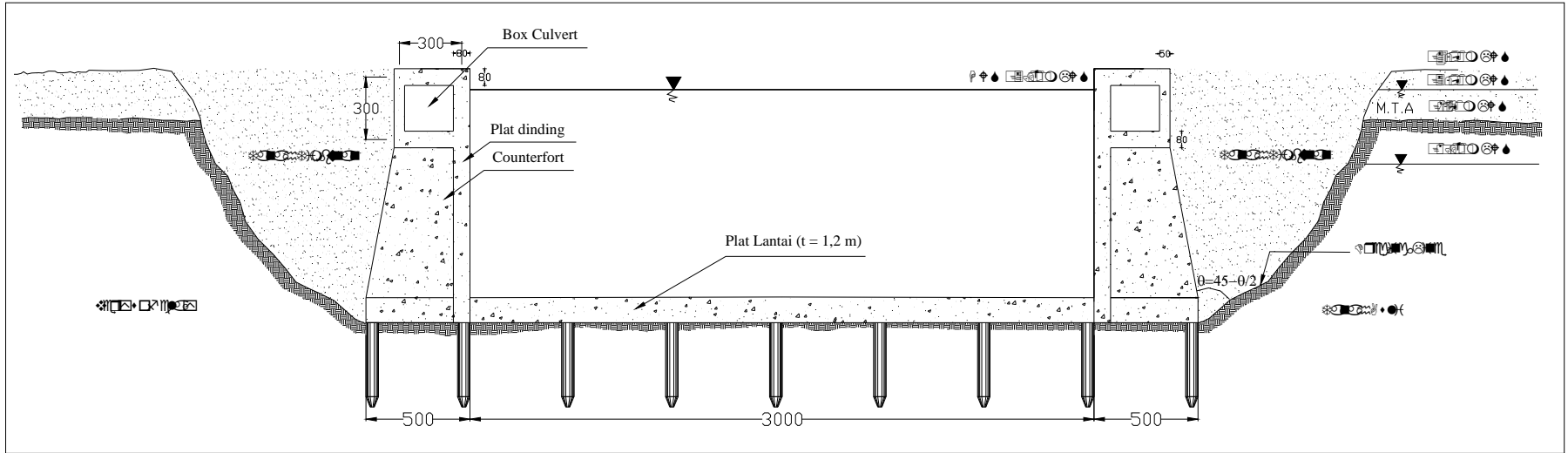
Sebelum merencanakan struktur graving dock, perlu diketahui tata letak (lay out) tempat dibangunnya graving dock rencana. Lokasi tempat dibangunnya graving dock berada pada sisi timur Pelabuhan TNI-AL menghadap sungai Semampir. Untuk lebih jelasnya lay out dan potongan graving dock dapat dilihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2. dan Gambar 5.3.



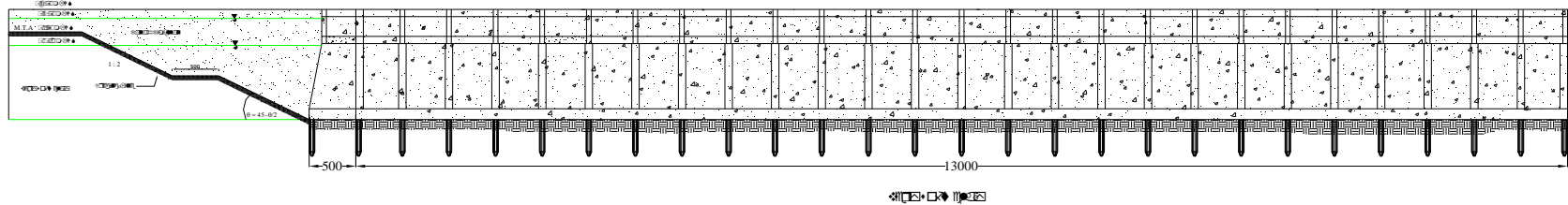
Gambar 5.1. Lay Out Graving Dock



Gambar 5.2. Detil A



Gambar 5.3. Potongan Melintang Graving Dock (Potongan A-A).



Gambar 5.4. Potongan Memanjang Graving Dock (Potongan B-B)

5.2. EVALUASI LAY OUT

Evaluasi lay out perlu dilakukan terhadap lay out graving dock rencana, agar diketahui apakah disain dock rencana benar-benar sudah mencapai kriteria disain yang optimal. Evaluasi yang akan dilakukan adalah evaluasi terhadap dimensi graving dock, elevasi, serta evaluasi terhadap kedalaman perairan. Berdasarkan hasil studi kelayakan perencanaan graving dock di kawasan pangkalan TNI-AL di kecamatan Semampir kota Surabaya, diperoleh ukuran dimensi graving dock, yaitu :

- Panjang (L) : 130 m
- Lebar (B) : 30 m
- Tinggi (H) : 11 m

5.2.1. Evaluasi Dimensi

Graving dock rencana harus mampu menampung kapal dengan ukuran terbesar yang menggunakan fasilitas dock tersebut.

1. Panjang

Panjang dari graving dock dapat ditentukan sesuai dengan rumus :

$$\begin{aligned}L_U &= (3 - 4m) + L_d \\ &= 4m + 122m = 126 \text{ m} \leq 130\text{m (OK!)}\end{aligned}$$

2. Lebar

Lebar dari graving dock dapat ditentukan dengan rumus :

$$\begin{aligned}S_U &= (3 - 6m) + Sd \\ &= 5m + 22m = 27 \text{ m} \leq 30\text{m (OK!)} \\ S_U &= (0.15 - 0.18)L_U \\ &= 0.16 \times 122\text{m} = 3.52 \text{ m} \leq 30\text{m (OK!)}\end{aligned}$$

3. Lebar pintu masuk minimum

Lebar yang dibutuhkan kapal untuk masuk ke dalam graving dock adalah :

$$S_w = \text{Lebar kapal} + 2\text{m}$$

$$= 22\text{m} + 2\text{m} = 24\text{m} \leq 30\text{m} \text{ (OK!)}$$

4. Tinggi total (h_w):

Kebutuhan tinggi graving dock dapat ditentukan dengan rumus:

$$h_w := (Tc + r)$$

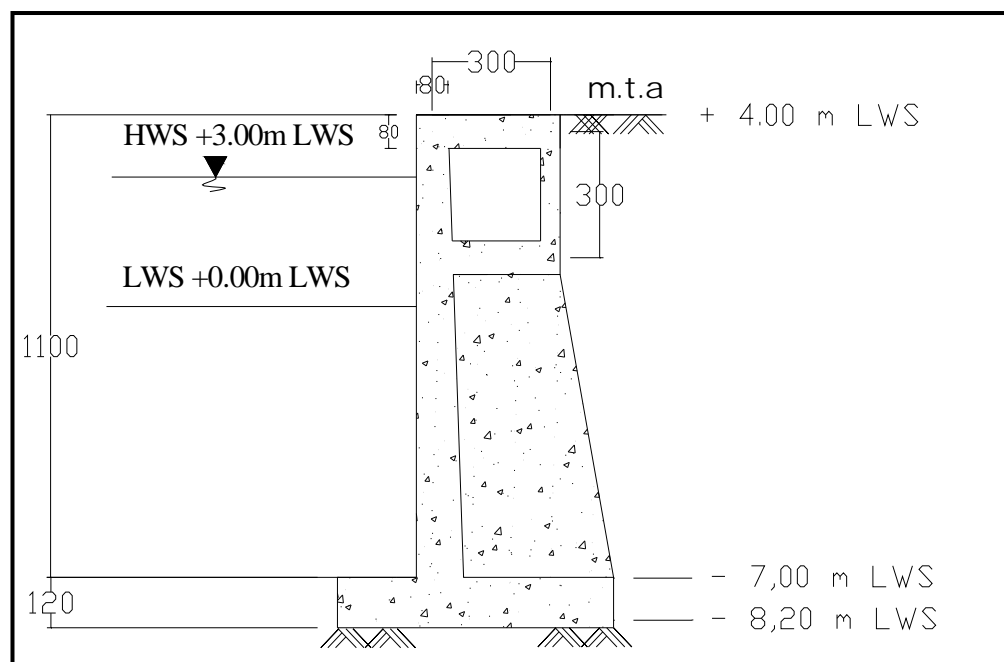
Karena kapal rencana adalah kapal perang, maka pada draft kapal perlu ditambahkan jarak sebesar 1m untuk sonar kapal, sehingga :

$$h_{\text{perlu}} = 4,9 \text{ m} + 0,5\text{m} + 1\text{m} = 6,4 \text{ m} \leq 11\text{m} \rightarrow \text{full draught (OK!).}$$

$$h_{\text{perlu}} = 3,14 \text{ m} + 0,5\text{m} + 1\text{m} = 4,64 \text{ m} \leq 11\text{m} \rightarrow \text{empty draught (OK!).}$$

5.2.2. Elevasi Graving Dock

Kapal direncanakan dapat masuk ke dalam graving dock pada saat kondisi air laut pasang dan juga pada saat kondisi air laut surut. (Lihat Gambar 5.4).



Gambar 5.5.Elevasi Graving Dock

· Pada saat air pasang

Elevasi dock adalah :

$$H = (+ 3.00\text{m LWS}) + 0.5 \text{ m}$$

$$= + 4.00 \text{ m LWS.}$$

Elevasi dermaga diambil + 4.00 m LWS.

- Pada saat air surut

Kedalaman perairan pada saat air surut adalah

$$H = 11 \text{ m} - 4 \text{ m}$$

$$= 7,00 \text{ m} / h_{\text{perlu}} = 6,4 \text{ m (OK!).}$$

Disimpulkan bahwa perencanaan dimensi graving dock telah memenuhi persyaratan dan kebutuhan yang direncanakan.

5.2.3. Kedalaman Perairan

Menurut *Standar Design Criteria for Ports in Indonesia 1984*, kedalaman perairan di daerah kolam pelabuhan adalah :

$$H = (1.05 \text{ s/d } 1.15) \times D$$

$$\text{Full Draught} : H = (1.05 \text{ s/d } 1.15) \times 6\text{m} = 6,3 \text{ m s/d } 6,9 \text{ m} \rightarrow 7\text{m.}$$

$$\text{Empty Draught} : H = (1.05 \text{ s/d } 1.15) \times 4,64\text{m} = 4,872 \text{ m s/d } 5,34 \text{ m} \rightarrow 6\text{m.}$$

5.2.4. Kesimpulan Evaluasi Elevasi

Dalam perencanaan ini kedalaman perairan diambil -7m LWS, menyesuaikan desain dari PT. Adhi Karya dan sekaligus untuk kemungkinan kapal perang dengan draft yang lebih besar. Sehingga meskipun sebenarnya kedalaman -6 mLWS memenuhi kebutuhan kedalaman perairan terhadap kapal yang akan dilayani, namun dalam perencanaan graving dock TNI –AL di kecamatan Semampir kota Surabaya ini diambil kedalaman -7 mLWS walaupun nantinya akan memakan biaya yang cukup besar (boros) dibanding dengan kedalaman -6 mLWS. Tetapi besarnya perbedaan biaya yang dikeluarkan dalam perencanaan graving dock ini tidak terlalu signifikan karena perbedaan kedalaman perairannya hanya 1m saja. Selain itu, jika dilihat dari segi keamanan, struktur graving dock ini dinilai cukup aman terhadap uplift yang terjadi, karena besarnya uplift yang terjadi pada kedalaman -7 mLWS lebih besar dibandingkan dengan perencanaan pada kedalaman perairan -6 mLWS.

5.3. PERENCANAAN DIMENSI STRUKTUR

1. Dimensi box culvert direncanakan :

- L = 300 cm.
- H = 50 cm.
- B = 80 cm.

2. Penentuan jarak dinding counterfort

$$\begin{aligned} S &= H/3 \text{ s/d } H/2 \\ &= 11/3 \text{ m s/d } 11/2 \text{ m} \\ &= 3,67 \text{ m s/d } 5,5 \text{ m diambil } S \approx 5 \text{ m.} \end{aligned}$$

3. Tebal dinding counterfort

$$\begin{aligned} t &= H/14 \text{ s/d } H/12 \\ &= 11/14 \text{ m s/d } 11/12 \text{ m} \\ &= 0,79 \text{ m s/d } 0,92 \text{ m diambil } t \approx 0,8 \text{ m.} \end{aligned}$$

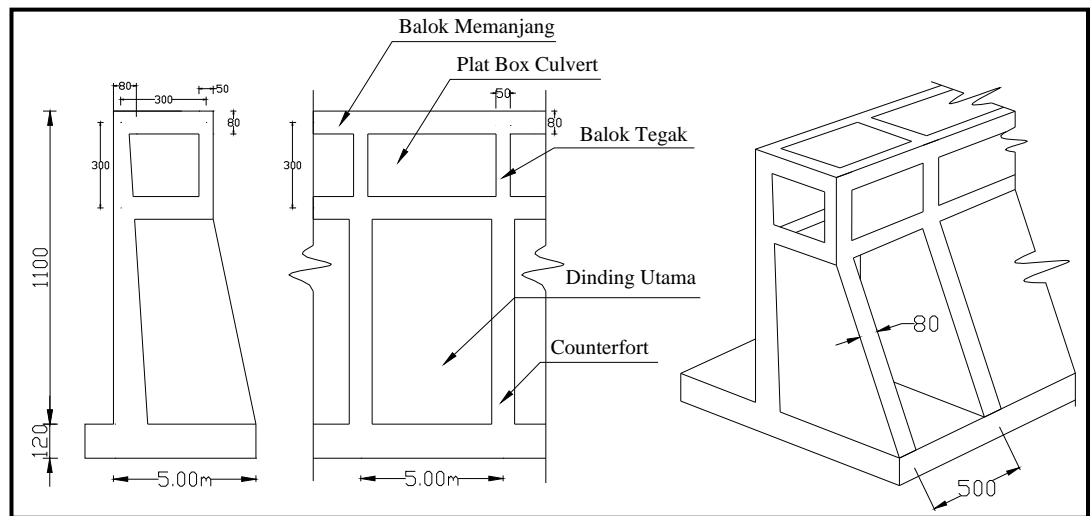
4. Tebal dinding utama

$$\begin{aligned} t &= H/14 \text{ s/d } H/12 \\ &= 11/14 \text{ m s/d } 11/12 \text{ m} \\ &= 0,79 \text{ m s/d } 0,92 \text{ m diambil } t \approx 0,8 \text{ m.} \end{aligned}$$

5. Lebar bawah dinding counterfort

$$\begin{aligned} t &= 0,4 \times H \text{ s/d } 0,7 \times H \\ t &= 0,4 \times 11 \text{ m s/d } 0,7 \times 11 \text{ m} \\ t &= 4,4 \text{ m s/d } 7,7 \text{ m diambil } t \approx 5 \text{ m.} \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.6. Dimensi Rencana Bangunan Atas.

5.4. PERHITUNGAN GAYA LUAR PADA GRAVING DOCK

Dalam perhitungan gaya luar ini seluruh beban luar yang bekerja harus ditransformasikan menjadi beban horizontal tanah yang bekerja terhadap struktur.

5.4.1. Tekanan Tanah

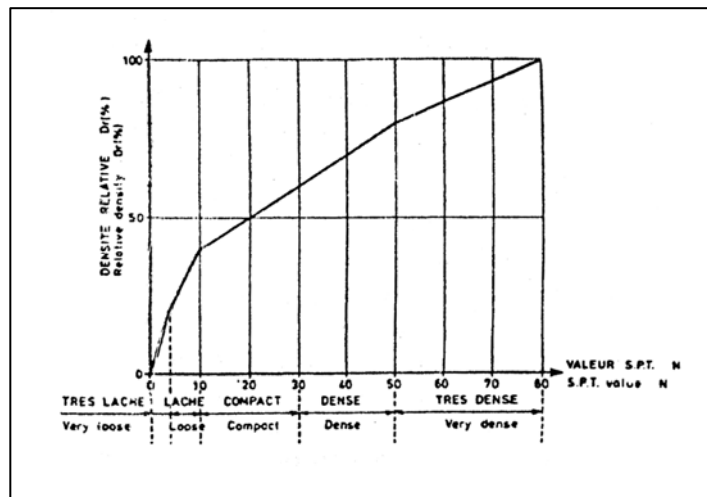
1. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam perhitungan dermaga ini ada dua yaitu data tanah timbunan dan data tanah asli. Tanah timbunan digunakan sedalam tinggi graving dock rencana. Oleh karena itu perlu diketahui spesifikasi tanah timbunan yang akan digunakan.

Tanah yang digunakan untuk timbunan menurut Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi dalam bukunya Teknik Reklamasi memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Berupa tanah pasir bercampur kerikil dan sedikit lanau.
2. Harus bersih dan bebas dari bahan organis dan kotoran.
3. Diameter butiran maksimum = 20 mm.
4. Prosentase material berdiameter halus yaitu yang lebih kecil dari 0.08 mm, adalah lebih kecil dari 20%

5. Relative density (D_r) timbunan minimum = 80% untuk zone di atas muka air pasang dan minimum 60% pada zone dibawah muka air pasang.
6. Koefisien permeabilitas (k) minimum = 1×10^{-5} m/s.



Gambar 5.7. Grafik Korelasi D_r vs SPT (Terzaghi dan Peck).

Berdasarkan ketentuan-ketentuan tersebut diatas, material reklamasi yang digunakan harus memiliki nilai D_r 80 %. Untuk D_r 80%, berdasarkan Gambar Korelasi grafis antara SPT dengan D_r (Terzaghi dan Peck), didapat nilai SPT 47. Dan dari grafik tersebut juga diketahui jenis material ini merupakan jenis material yang dense. (Gambar 5.6.).

Tabel 5.1. SPT Cohesionless (J.E. BOWLES, 1984)

Cohesionless soil					
N (blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
γ (KN/m ³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
ϕ (°)	-	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
State	Very loose	Loose	Medium	Dense	Very dense
D_r (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100
Cohesive soil					
N (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ (KN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
q_u (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Kemudian, berdasarkan Tabel SPT Cohesionless (Tabel 5.1), dari nilai SPT dan jenis material, didapat data-data sebagai berikut :

$$C = 0$$

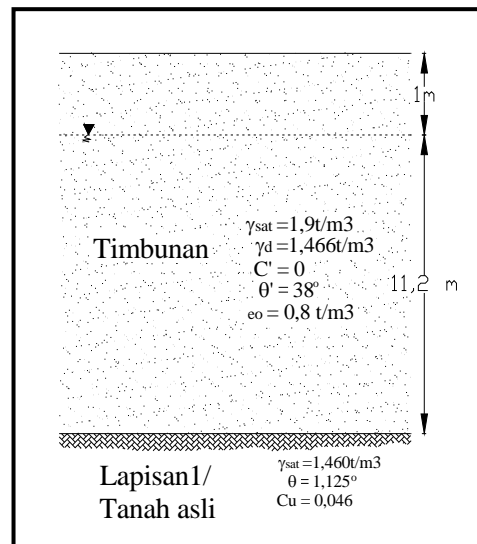
$$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi' = 38^\circ$$

Sehingga diperoleh parameter tanah pada tiap lapisan di lokasi graving dock rencana, yang diberikan pada Tabel 5.2 dan Gambar 5.7.

Tabel 5.2. Parameter tanah di lokasi graving dock rencana

Jenis Tanah	γ_{sat}	γ_d	w	C	$\Phi(^{\circ})$	45- $\theta/2$	Ka = $\tan^2(45-\theta/2)$
	(t/m^3)	(t/m^3)	(%)				
Timbunan	1,90	1,466	30	0	38	25,80	0,238
Lapisan 1	1,47	-	77,11	0,043	1,375	44,31	0,953



Gambar 5.8. Parameter tanah graving dock.

5.4.2. Surcharge Load

Surcharge Load dapat berupa beban tanah yang digunakan untuk timbunan dan beban hidup di atas struktur dinding. Dalam Standart Design for Port and Harbour Facilities in Japan, 1980, ditentukan beban muatan diambil sebesar 1-5 t/m^2 . Pada perencanaan graving dock ini diambil beban sebesar 3 t/m^2 . Selain hal tersebut diatas, diperhitungkan juga settlement tanah timbunan supaya elevasi graving dock tidak mengalami penurunan (tanah timbunan benar- benar padat).

5.5. PERHITUNGAN SETTLEMENT

Dalam jangka waktu tertentu lapisan tanah timbunan akan mengalami settlement/konsolidasi. Adapun besarnya settlement total pada suatu lapisan tanah adalah ditambah dengan consolidation settlement. Immediately settlement terjadi karena suatu tanah dibebani, dan settlement ini berlangsung saat itu juga ketika lapisan tanah tersebut dibebani. Sedangkan consolidation settlement adalah penurunan yang diakibatkan oleh keluarnya air pori dari dalam tanah karena terus menerus dibebani. Consolidation settlement ini terjadi dalam jangka waktu yang cukup lama.

➤ Immediately Settlement

Besarnya penurunan akibat immediate settlement dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$S_i = \frac{q \times B(1 - \mu^2)C_f}{E}$$

dimana : q = beban merata

B = lebar pondasi

μ = koefisien Poison

E = Modulus Young (Tabel 5.3)

C_f = koefisien bentuk pondasi. (Tabel 5.4)

Tabel 5.3. Beberapa harga E dan μ

Jenis Tanah	Modulus Young (KN/m ²)	Koef. Poison (μ)
Pasir Lepas	10350-27600	0,2-0,4
Pasir agak padat		0,25-0,4
Pasir padat	34500-69000	0,3-0,45
Pasir berlanau		0,2-0,4
Lempung lembek	1380-3450	0,15-0,25
Lempung agak kaku		0,2-0,5
Lempung keras	5865-13800	-

(sumber : *Mekanika Tanah*, Braja M, Das. Jilid 1

Tabel 5.4. Koefisien Bentuk Pondasi

Bentuk	L/B	Pondasi Lentur		Pondasi kaku
		Di tepi	Di tengah	
Bundar	-	1	0,64	0,79
Persegi	1	1,12	0,56	0,88
	1,5	1,36	0,68	1,07
	2	1,53	0,77	1,21
	3	1,78	0,89	1,42
	5	2,1	1,05	1,7
	10	2,54	1,27	2,1
	20	2,99	1,49	2,46
	50	3,57	1,8	3
	100	4,01	2	3,43

(sumber : *Mekanika Tanah*, Braja M, Das. Jilid 1)

Sehingga didapat : $q = 3 \text{ t/m}^2$

$$B = 30 \text{ m}$$

$$\mu = 0,4$$

$$E = 11000 \text{ kN/m}^2 = 1100 \text{ t/m}^2$$

$$L/B = 130/30 = 4,333 \approx 5$$

$$S_i = \frac{3 + 1,9 \cdot 1 + (1,9 - 1,05) \cdot 11,2 \times 30 (1 - 0,4^2)}{1100} \cdot 1,7$$

$$= 0,562 \text{ m.}$$

➤ **Primair Consolidation Settlement**

Besarnya penurunan akibat konsolidasi primer dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$S_{cp} = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_0' + \Delta \sigma}{\sigma_0'} \right), \text{ Normally Consolidated Soil}$$

dimana untuk harga angka pori (e_0) dan kadar air (W_L) dapat diperoleh dari Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Harga Angka Pori, Kadar Air, Berat Volume Kering untuk Beberapa Jenis Tanah.

Type Of Soil	Void Ratio	Natural moisture content	Dry unit weight
		in saturated condition	γ_d
	e	(%)	(kN/m ³)
Loose uniform sand	0,8	30	14,5
Dense uniform sand	0,45	16	18
Loose angular-grained silty sand	0,65	25	16
Dense angular-grained silty sand	0,4	15	19
Stiff clay	0,6	21	17
Soft clay	0,9-1,4	30-50	11,5-14,5
Loess	0,9	25	13,5
Soft organic clay	2,5-3,2	90-120	6-8
Glacial till	0,3	10	21

(Sumber : *Principles of Foundation Engineering, Second Edition, Braja M. Das*).

Sehingga didapat $e_o = 0,8$

$$W_L = 30$$

$$C_c = 0,009 (W_L - 10) = 0,009 (30 - 10) = 0,18$$

$$\sigma_0' = 1,9 \cdot 0,5 + (1,9 - 1,05) \cdot 5,6 = 5,71 \text{ t/m}^2$$

$$S_{cp} = \frac{0,18 \times 12,2}{1 + 0,8} \log \left(\frac{5,71 + 3}{5,71} \right)$$

$$S_{cp} = 0,224 \text{ m}$$

$$S_c = 0,562 \text{ m} + 0,224 \text{ m} = 0,786 \text{ m}$$

Sehingga tinggi timbunan awal yang diperlukan adalah :

$$H_{\text{awal}} = H_{\text{akhir}} + \text{Settlement}$$

$$H_{\text{awal}} = 12,2 + 0,786$$

$$H_{\text{awal}} = 12,986 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$$

➤ **Waktu Konsolidasi**

Persamaan yang dipakai untuk menghitung waktu konsolidasi adalah :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2}$$

dimana : T_v = Faktor waktu

C_v = Koefisien waktu

t = Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi

H = Panjang aliran

Sehingga untuk mengetahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi dipakai persamaan :

$$t_{90} = \frac{H^2 \cdot T_{90}}{C_v} \quad \text{dimana : } U_{90} \rightarrow T_{90} = 0,848$$

$$H = 12,2\text{m}$$

$$C_v = 0,0005116 \text{ cm}^2/\text{dtk}$$

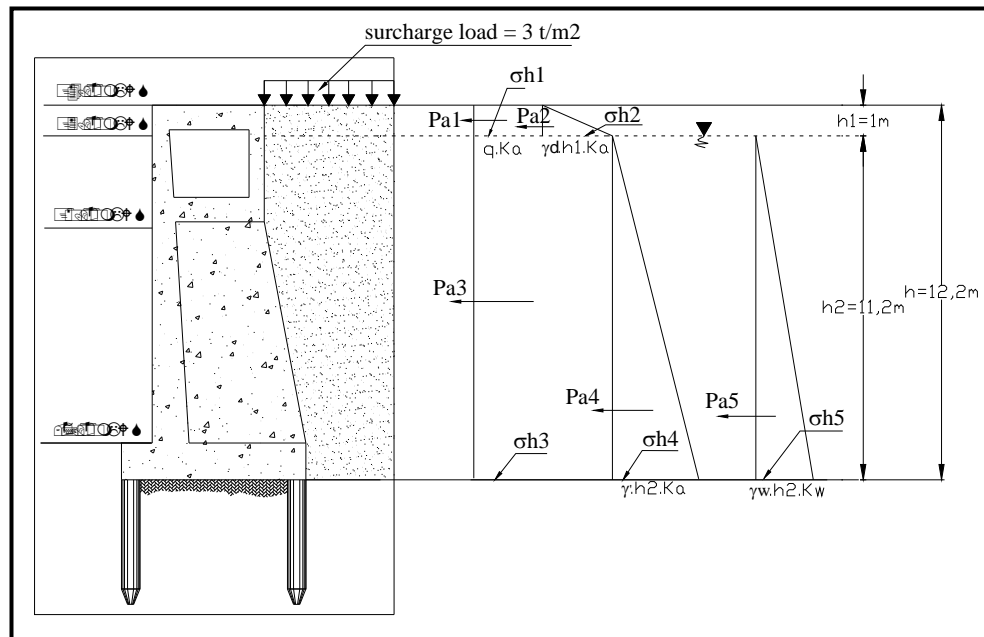
$$t_{90} = \frac{12,2^2 \times 0,848}{0,00005116 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365}$$

$$t_{90} = 0,782 \text{ tahun}$$

5.5. PERHITUNGAN GAYA-GAYA YANG BEKERJA

5.5.1. TEKANAN TANAH LATERAL

Diagram Tegangan yang terjadi pada graving dock dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9. Diagram Tegangan pada Graving Dock

➤ *Perhitungan Tegangan Tanah :*

$$\begin{aligned}\sigma_{h1} &= (q \times K_{a_q}) \\ &= (3 \times 0,238) \\ &= 0,714 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h2} &= (K_a \times \gamma_d \times h_1) \\ &= (0,238 \times 1,466 \times 1) \\ &= 0,349 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h3} &= (q \times K_{a_q}) + (K_a \times \gamma_d \times h_1) \\ &= (3 \times 0,238) + (0,238 \times 1,466 \times 1) \\ &= 1,063 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h4} &= K_a \times \gamma^3 \times h_2 \\ &= 0,238 \times (1,9-1,05) \times 11,2 \\ &= 2,266 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h5} &= (\gamma_w \times h_w \times K_{a_w}) \\ &= (1,05 \times 11,2 \times 1) \\ &= 11,76 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

➤ *Perhitungan Tekanan Tanah Dan Letak Resultantnya :*

$$Pa_1 = 0,714 \times 1 = 0,714 \text{ t/m}$$

$$Pa_2 = \frac{1}{2} \times 0,349 \times 1 = 0,174 \text{ t/m}$$

$$Pa_3 = 1,063 \times 11,2 = 11,904 \text{ t/m}$$

$$Pa_4 = \frac{1}{2} \times 2,266 \times 11,2 = 12,69 \text{ t/m}$$

$$Pa_5 = \frac{1}{2} \times 11,76 \times 11,2 = 65,86 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned}Pa &= \sum P_i \\ &= 0,714 + 0,174 + 11,904 + 12,69 + 65,86 \\ &= \mathbf{91,342 \text{ t/m}}\end{aligned}$$

➤ *Letak Gaya Resultante Yang Bekerja :*

$$Y_1 = 11,2 + \frac{1}{2} \times 1 = 11,7 \text{ m}$$

$$Y_2 = 11,2 + \frac{1}{3} \times 1 = 11,53 \text{ m}$$

$$Y_3 = \frac{1}{2} \times 11,2 = 5,6 \text{ m}$$

$$Y_4 = \frac{1}{3} \times 11,2 = 3,73 \text{ m}$$

$$Y_5 = \frac{1}{3} \times 11,2 = 3,73 \text{ m}$$

Untuk mendapatkan \bar{y} dengan menjumlahkan momen-momennya :

$$95,43 \bar{y} = 0,714 (11,7) + 0,174 (11,53) + 11,904 (5,6) + 12,96 (3,73) \\ + 65,86 (3,73)$$

$$95,43 \bar{y} = 8,354 + 2,006 + 66,662 + 48,341 + 245,658$$

$$\bar{y} = \frac{371,021}{91,342}$$

$$= 4,062 \text{ m (dari dasar dinding)}$$

5.5.2. TEKANAN AIR DI DALAM GRAVING DOCK

- Saat graving dock kosong

Pada saat graving dock kosong, air yang berada dalam graving dock hanya setinggi keel block (0,6 m).

$$\sigma_h = K a_w \times \gamma_w \times h$$

$$\sigma_h = 1 \times 1,05 \times 0,6$$

$$\sigma_h = 0,63 \text{ t/m}^2$$

- Saat dock dalam keadaan isi air.

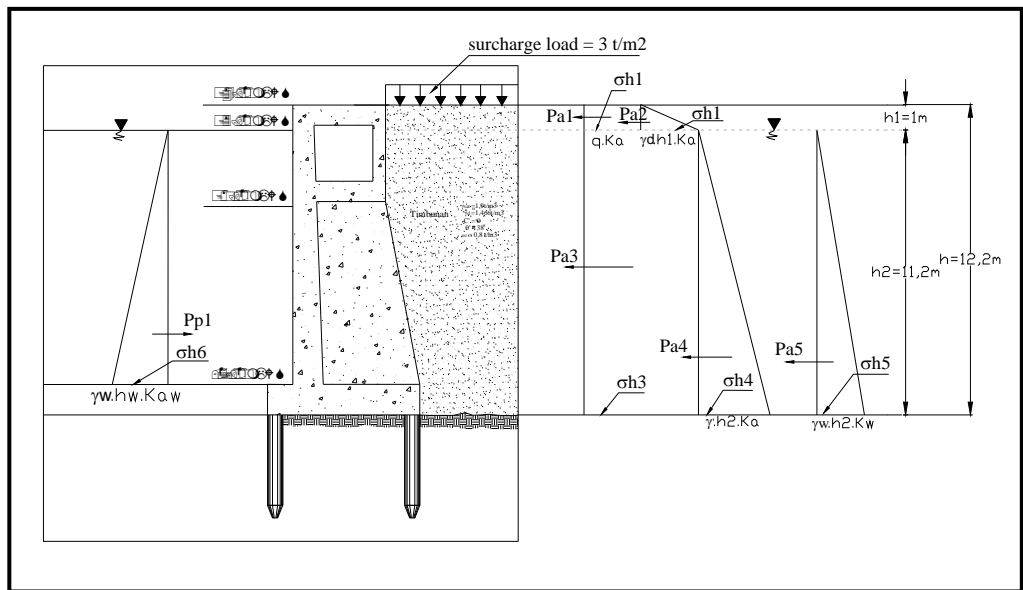
Pada saat dock dalam keadaan terisi air, tinggi muka air di dalam graving dock adalah 11,2 m.

$$\sigma_h = K a_w \times \gamma_w \times h$$

$$\sigma_h = 1 \times 1,05 \times 11,2$$

$$\sigma_h = 11,76 \text{ t/m}^2$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 5.10. dan Gambar 5.11.

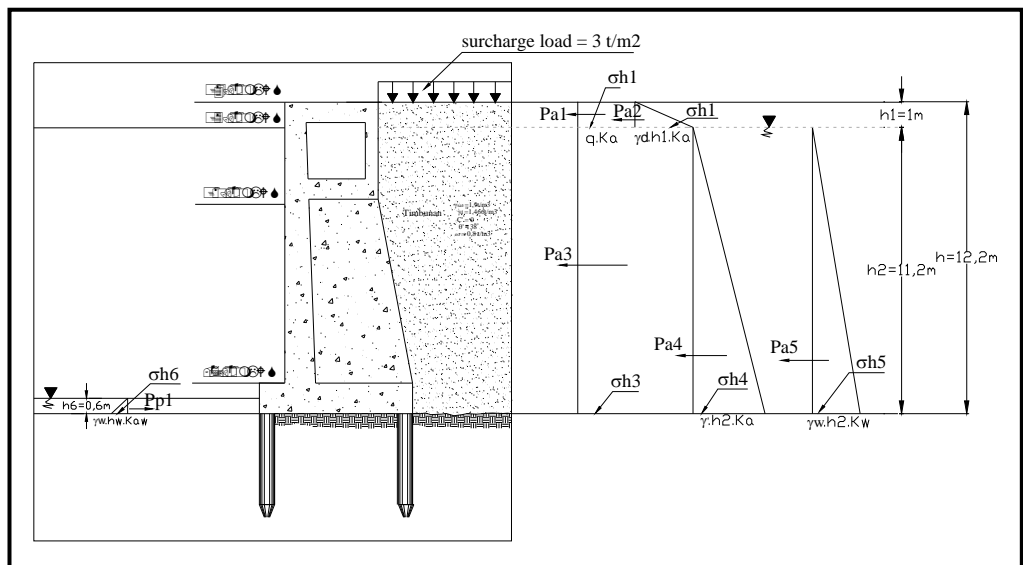


Gambar 5.10. Kondisi saat air di dalam dock penuh.

$$\begin{aligned} \sigma_{h6} &= \gamma_w \times h_w \times K_{aw} \\ &= 1,05 \times 11,2 \times 1 \\ &= 13,25 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$P_{p1} = \frac{1}{2} \times 13,25 \times 11,2 = 74,2 \text{ t/m}$$

$$Y_6 = \frac{1}{3} \times 11,2 = 3,73 \text{ m}$$



Gambar 5.11. Kondisi saat dock dalam keadaan kosong.

$$\begin{aligned}\sigma_{h6} &= \gamma_w \times h_w \times K_{a_w} \\ &= 1,05 \times 0,6 \times 1 \\ &= 0,63 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$P_{p1} = \frac{1}{2} \times 0,63 \times 0,60 = 0,189 \text{ t/m}$$

$$Y_6 = \frac{1}{3} \times 0,6 = 0,2 \text{ m}$$

Kedua kondisi ini nantinya akan menjadi kombinasi beban dalam input data pada analisa SAP2000.

5.5.3. UPLIFT

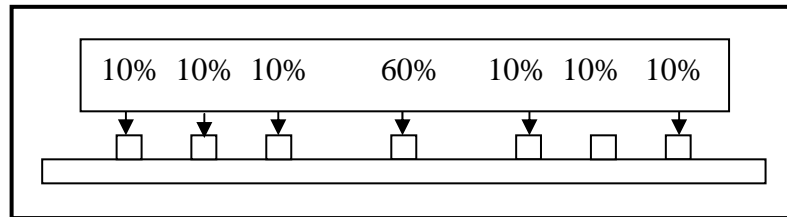
$$U = \gamma_w \times h = 1,05 \times 11,2 = 11,76 \text{ t/m}^2$$

5.5.4. BEBAN KAPAL

Beban kapal yang diterima oleh struktur graving dock adalah beban kapal ukuran maximum yang dilayani oleh graving dock. Ukuran kapal maksimum yang dilayani oleh graving dock di Kawasan Pangkalan TNI-AL di Kecamatan Semampir, Kota Surabaya ini adalah sebesar 4000 DWT. Beban kapal tersebut akan diterima oleh Keel block dan Bilge block. Kemudian didistribusikan menjadi beban terpusat pada struktur lantai. Beban yang bekerja akibat kapal pada keel block dan bilge block. dapat dihitung dengan menggunakan perumusan berikut ini:

$$P_{\max, \min} = \frac{Cd}{Lp} \left[1 \pm \frac{3(Lw - Lp)}{Lp} \right]$$

Perhitungan beban akibat kapal selengkapnya akan dibahas pada *Sub-bab Perencanaan Struktur Lantai*. (Lihat Gambar 5.12).



Gambar 5.12. Beban Terpusat Keel dan Bilge Block

5.5.5. BEBAN GEMPA

Beban Gempa dapat dihitung dengan rumus :

$$V = C.I.K.Wt$$

➤ Beban Mati (Berat Sendiri) :

1. B. Box culvert :

- B. plat = $0,2 \times 3 \times 5 \times 2,4 \times 58 \times 4 = 1670,40$ ton
- B. melintang = $0,5 \times 0,8 \times 3 \times 2,4 \times 58 \times 4 = 691,20$ ton
- B. memanjang = $0,5 \times 0,8 \times 5 \times 2,4 \times 60 \times 4 = 1113,60$ ton
- B. tegak = $0,5 \times 0,8 \times 3,8 \times 2,4 \times 27 \times 2 \times 2 = 875,52$ ton

2. B. dinding memanjang = $0,8 \times 11 \times 130 \times 2,4 \times 2 = 5491,20$ ton

3. B. dinding melintang = $0,8 \times 11 \times 30 \times 2,4 = 633,6$ ton

4. B.counterfort = $0,5 \times 0,8 \times (3+5) \times 2,4 \times 7,2 \times 61 \times 2 = 3373,07$ ton

5. B. plat lantai = $1,2 \times 130 \times 30 \times 2,4 = 11232$ ton +

$W_D = 25080,6$ ton

➤ Beban Hidup :

1. Beban muatan = $3 \times 130 \times 30 = 11700$ ton

2. Beban air hujan = $0,005 \times 130 \times 30 = 19,5$ ton +

$W_L = 11720$ ton

3. Koefisien Reduksi = $0,5 \times W_L = 5859,8$ ton

$$\begin{aligned}\text{Berat Total bangunan } (W_t) &= W_D + W_L \\ W_t &= 25080,3 + 5859,8 \\ W_t &= \mathbf{30940 \text{ ton.}}\end{aligned}$$

➤ Waktu Getar Alami Struktur Gedung

$$\begin{aligned}T_x = T_y &= 0,06 H^{1/3} \quad (H = 11 \text{ m}) \\ &= 0,1334 \text{ detik}\end{aligned}$$

➤ Koefisien Gempa Dasar (C)

$$\text{Zona 2 ; } C = 0,05$$

➤ Faktor Keutamaan (I) dan Faktor Reduksi Gempa (R)

$$I = 2$$

$$K = 1$$

➤ Gaya Geser Horizontal Total Akibat Gempa

$$\begin{aligned}V_x = V_y &= C \times I \times K \times W_t \\ &= 0,05 \times 2 \times 1 \times 30940 \\ &= 2320,5 \text{ ton.}\end{aligned}$$

➤ Distribusi Gaya Geser Horizontal Akibat Gempa

$$F_{i,x} = (W_{iH} / \Sigma W_{iH}) \times V_x$$

$$F_{i,y} = (W_{iV} / \Sigma W_{iV}) \times V_y$$

Distribusi gaya geser horizontal akibat gempa dihitung pada tiap dinding pengaku (counterfort) arah x dan arah y. Pada arah x, besarnya distribusi gaya gempa untuk counterfort 2 hingga counterfort 26 adalah sama. Sementara besarnya distribusi gaya gempa pada counterfort 1 sama dengan counterfort 27. Pada arah y, , besarnya distribusi gaya gempa untuk counterfort 2 hingga counterfort 6 adalah sama. Sementara besarnya distribusi gaya gempa pada counterfort1 sama dengan counterfort 7. (Lihat Tabel 5.6. dan Tabel 5.7.).

Tabel 5.6. Distribusi Gaya Geser Akibat Gempa per Dinding Counterfort Arah x

hi	Wi	Wih	Fi,x	Counterfort1	Counterfort2	Counterfort3	Counterfort25	Counterfort26	Counterfort27
				2.5/130	5/130	5/130	5/130	5/130	2.5/130
(m)	(ton)	(tonm)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
11	30940	340343,6	146,667	2,82	5,64	5,64	5,64	5,64	2,82

Tabel 5.7. Distribusi Gaya Geser Akibat Gempa per Dinding Counterfort Arah y

hi	Wi	Wih	Fi,x	CounterfortA	CounterfortB	CounterfortC	CounterfortD	CounterfortE	CounterfortF	CounterfortG
				2.5/30	5/30	5/30	5/30	5/30	5/30	2.5/30
(m)	(ton)	(tonm)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
11	30940	340343,6	146,667	12,22	24,44	24,44	24,44	24,44	24,44	12,22

5.6. KOMBINASI BEBAN

Dalam perhitungan analisa SAP, kombinasi pembebanannya adalah sebagai berikut :

- ✓ Combo 1 = 1,2 DL + 1,6 LL
- ✓ Combo 2 = 1,05 DL + 0,84 LL + 1,05 gempa arah x + 0,315 gempa arah y
- ✓ Combo 3 = 1,05 DL + 0,84 LL + 1,05 gempa arah y + 0,315 gempa arah x
- ✓ Combo 4 = 1,05 DL + 0,84 LL + 1,05 lateral
- ✓ Combo 5 = 1,05 DL + 0,84 LL + 1,05 uplift + 1,05 air di dalam setinggi keel block
- ✓ Combo 6 = 1,05 DL + 0,84 LL + 1,05 kapal + 1,05 lateral
- ✓ Combo 7 = 1,05 DL + 1,05 uplift + 1,05 air di dalam dock penuh.

5.7. PERENCANAAN BANGUNAN ATAS

Perencanaan bangunan atas meliputi :

- Box culvert.
- Perencanaan dinding.
- Perencanaan counterfort
- Perencanaan lantai.

5.7.1. PERENCANAAN BOX CULVERT

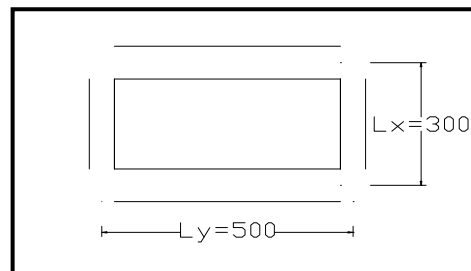
Perencanaan box culvert meliputi perhitungan pelat, balok melintang, balok memanjang, dan balok tegak.

5.7.1.1. Perencanaan Plat Box Culvert

Metode perhitungan pelat pada perencanaan graving dock ini menggunakan aturan perhitungan yang berlaku di Indonesia yaitu metode lentur cara 'n' yang disesuaikan dengan PBI 1971. Struktur diharapkan bersifat elastis karena :

- a. Beban-beban yang terjadi sangat besar sehingga direncanakan tidak terjadi retak pada struktur, sebab apabila air laut sampai masuk maka tulangan akan mengalami korosi.
- b. Bila struktur tertimpa oleh beban-beban yang ada maka wujud dari struktur tetap kembali seperti semula, hal ini disebabkan adanya diagram tegangan dan regangan yang menunjukkan batas elastis dan plastis pada suatu material, dalam hal ini adalah beton dan baja.

Setelah didapatkan nilai momen akan dilakukan perhitungan kebutuhan penulangan serta kontrol retak dan tegangan pada pelat.

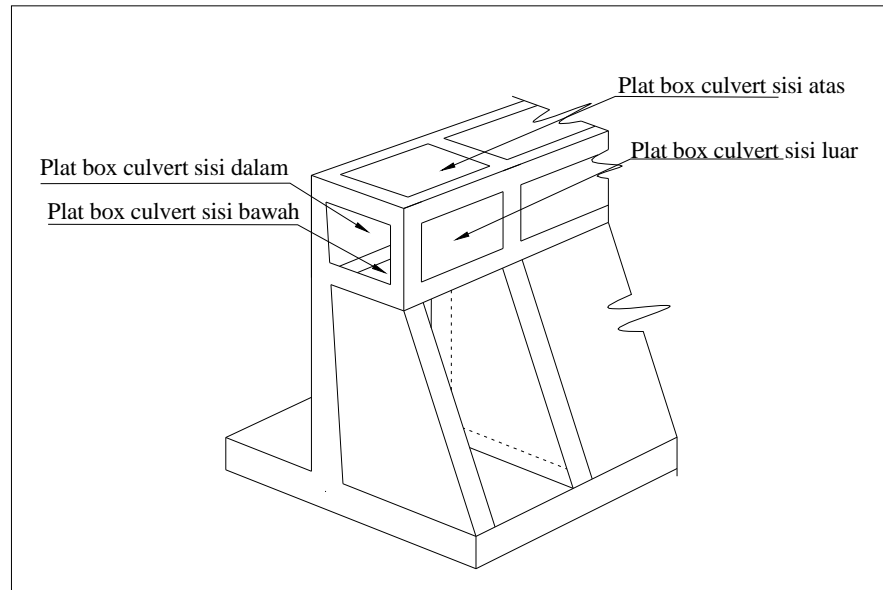


$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{500}{300} = 1,67 \leq 2$$

(plat 2 arah)

5.7.1.2. Pembebanan Plat Box Culvert

Beban yang diterima oleh plat box culvert pada tiap sisi berbeda-beda. Untuk itu, dalam menghitung beban yang bekerja pada tiap-tiap sisi box culvert dibagi dalam 4 bagian, yaitu plat sisi atas, plat sisi bawah, plat sisi luar, dan plat sisi dalam. Untuk lebih jelasnya, pembagian sisi plat box culvert dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13. Pembagian Sisi Plat Box Culvert

- *Pembebanan Plat Box Culvert Atas :*

1. *Beban Mati (DL)*

- Berat sendiri	=	0,2	x	2,4	=	0,480	t/m ²
- Berat specy	=	0,01	x	2,2	=	0,022	t/m ² +
						0,502	t/m ²

2. *Beban Hidup*

- Berat air hujan	=	0,05	x	1,0	=	0,050	t/m ²
						0,050	t/m ²

$$M_{max.} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 0.552 \times 3^2 = 0.621 \text{ tm.}$$

- *Pembebanan Plat Box Culvert Bawah :*

1. *Beban Mati (DL)*

- Berat sendiri	=	0,2	x	2,4	=	0,480	t/m ²
- Berat specy	=	0,01	x	2,2	=	0,022	t/m ² +
						0,502	t/m ²

2. Beban Hidup

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat Muatan} &= 1,000 \text{ t/m}^2 \\
 - \text{ Berat air hujan} &= 0,05 \times 1,0 = 0,050 \text{ t/m}^2 + \\
 &\qquad\qquad\qquad q_{LL} = 1,050 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\max.} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 1,552 \times 3^2 = 1,746 \text{ tm.}$$

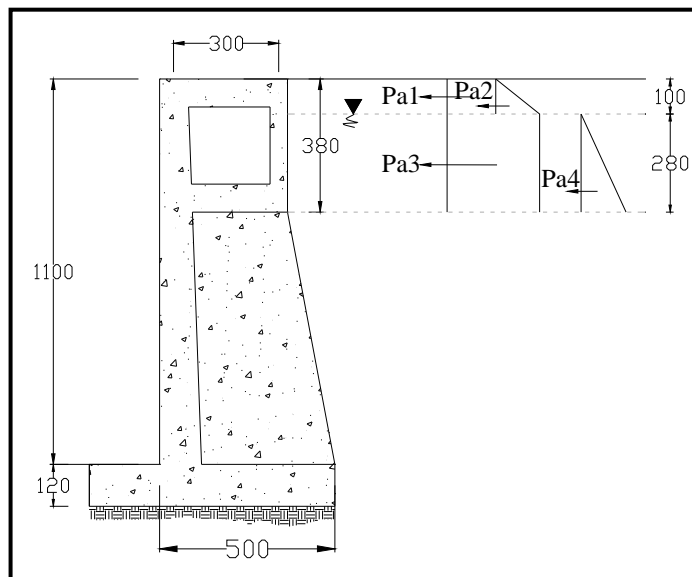
• *Pembebanan Plat Box Culvert Sisi Luar :*

1. Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat sendiri} &= 0,2 \times 2,4 = 0,48 \text{ t/m}^2 \\
 - \text{ Berat specy} &= 0,01 \times 2,2 = 0,022 \text{ t/m}^2 + \\
 &\qquad\qquad\qquad q_{DL} = 0,502 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{\max.} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 0,502 \times 3^2 = 0,565 \text{ tm.}$$

2. Beban Hidup = Beban Lateral (Lihat Gambar 5.13.)



Gambar 5.14. Beban Lateral Pada Box Culvert

Perhitungan tegangan yang bekerja pada box culvert :

$$\begin{aligned}
 - \sigma_1 &= q \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \\
 &= 3 \times 0.238 = 3 \times 0.238 = 0.714 \text{ t/m}^2. \\
 - \sigma_2 &= (q \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}}) + (\gamma_{\text{dtimb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 1) \\
 &= (3 \times 0.238) + (1.566 \times 0.238 \times 1) = 1.087 \text{ t/m}^2. \\
 - \sigma_3 &= (q \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}}) + (\gamma_{\text{dtimb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 1) + \\
 &\quad (\gamma'_{\text{timb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 2.8) + (\gamma_w \times K_{a_w} \times 2.8) \\
 &= (3 \times 0.238) + (1.566 \times 0.238 \times 1) + \\
 &\quad ((1.9-1.05) \times 0.238 \times 2.8) + (1.05 \times 1 \times 2.8) \\
 &= 4.593 \text{ t/m}^2 \\
 \Sigma\sigma_3 &= 0.714 + 1.087 + 4.593 = 6.394 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan tekanan yang bekerja pada box culvert :

$$\begin{aligned}
 - Pa_1 &= q \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 1 \\
 &= 3 \times 0.238 = 3 \times 0.238 \times 1 \times 1 = 0.714 \text{ t/m.} \\
 - Pa_2 &= 0.5 \times (\gamma_{\text{dtimb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 1) \times 1 \\
 &= 0.5 \times (1.566 \times 0.238 \times 1) \times 1 = 0.186 \text{ t/m.} \\
 - Pa_3 &= ((q \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}}) + (\gamma_{\text{dtimb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 1) + \\
 &\quad (\gamma'_{\text{timb.}} \times K_{a\gamma_{\text{timb.}}} \times 2.8)) \times 2.8 \\
 &= (3 \times 0.238) + (1.566 \times 0.238 \times 1) + \\
 &\quad ((1.9-1.05) \times 0.238 \times 2.8) \times 2.8 = 4.628 \text{ t/m.} \\
 - Pa_4 &= 0.5 \times (\gamma_w \times K_{a_w} \times 2.8) \times 2.8 \\
 &= 0.5 \times (1.05 \times 1 \times 2.8) \times 2.8 = 4.116 \text{ t/m.} \\
 \Sigma Pa &= 0.714 + 0.186 + 4.628 + 4.116 = 9.644 \text{ t/m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - y_1 &= 3.3 \text{ m.} \\
 - y_2 &= 3.13 \text{ m.} \\
 - y_3 &= 1.4 \text{ m.} \\
 - y_4 &= 0.93 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

$$\bar{Y} = \frac{(0.714 \times 3.3) + (0.186 \times 3.13) + (4.628 \times 1.4) + (4.116 \times 0.93)}{9.644}$$

$$\bar{Y} = 1.373 \text{ m.}$$

• *Pembebanan Plat Box Culvert Sisi Dalam :*

1. **Beban Mati (DL)**

- Berat sendiri = $0,2 \times 2,4 = 0,480 \text{ t/m}^2$

- Berat specy = $0,01 \times 2,2 = 0,022 \text{ t/m}^2 +$

qDL = 0,502 t/m²

2. **Beban Hidup = tidak ada**

$$M_{\max.} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 1.552 \times 3^2 = 1.746 \text{ tm.}$$

Jadi beban yang bekerja pada box culvert adalah : (Lihat Tabel 5.8.)

Tabel 5.8. Distribusi beban pada box culvert

Type Plat	Beban Mati (DL)	Beban Hidup (DL)
Box Culvert	(t/m ²)	(t/m ²)
sisi atas	0,502	0,05
sisi bawah	0,502	1,05
sisi luar	0,502	6,394
sisi dalam	0,502	0

5.7.1.3. Penulangan Plat Box Culvert

t = 20 cm

sel.beton = 7,5 cm

Φtul = 1,6 cm

σ_{au} = 3390 kg/cm²

σ_a = 2250 kg/cm²

n = 18.94

$$\Phi_n = \frac{2250}{18,94 \times 115,5} = 1.0$$

$$h = 20 - 7,5 - 0,5(1,6) = 11,7 \text{ cm}$$

$$A_{min} = \frac{12}{3390} \times 100 \times 11,7$$

$$A_{min} = 4.1416 \text{ cm}^2$$

➤ **PENULANGAN PLAT BOX CULVERT SISI ATAS :**

Tabel 5.9. Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi atas (SAP2000) :

Area	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
1442	COMB4	Combination	0,360781809	-0,245487	-9,85E-02	4,57E-01	-0,19781
1442	COMB4	Combination	-0,895801768	-1,436828	-4,21E-02	4,57E-01	-0,75391
1442	COMB4	Combination	0,36263698	0,7685227	-1,57E-01	-1,09E-01	-0,75391
1442	COMB4	Combination	-0,078514475	0,2915522	-2,13E-01	-1,09E-01	-0,19781
1442	COMB5	Combination	1,216353329	0,0354673	-2,22E-01	1,06E+00	-0,04358
1442	COMB5	Combination	-1,89538187	-1,699884	-0,16891	1,06E+00	-0,85959
1442	COMB5	Combination	-0,163088267	0,8256095	-2,35E-01	1,63E-01	-0,85959
1442	COMB5	Combination	0,260441294	0,1129218	-2,88E-01	1,63E-01	-0,04358
1442	COMB6	Combination	0,343975369	-0,255753	-9,63E-02	4,46E-01	-0,20356
1442	COMB6	Combination	-0,877564864	-1,444792	-4,01E-02	4,46E-01	-0,76015
1442	COMB6	Combination	3,81E-01	0,7795141	-1,56E-01	-1,18E-01	-0,76015
1442	COMB6	Combination	-8,95E-02	0,2987756	-2,13E-01	-1,18E-01	-0,20356
1442	COMB7	Combination	8,44E-01	-0,05392	-1,56E-01	7,45E-01	-0,07343
1442	COMB7	Combination	-1,34E+00	-1,289792	-1,22E-01	7,45E-01	-0,65677
1442	COMB7	Combination	-1,02E-01	0,6471735	-1,70E-01	1,12E-01	-0,65677
1442	COMB7	Combination	1,87E-01	0,1330392	-2,03E-01	1,12E-01	-0,07343

- $M_{tx} = - M_{lx}$

$$\text{Momen} = 1895.300 \text{ kg.m}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18.94 \times 189530}{100 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$Ca = 2.929$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 1.491 \geq 1,0 \quad \text{OK!}$$

$$100\eta\omega = 13.45$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$\omega = 0.007101$$

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= 0.007101 \times 100 \times 11,7 \\ &= 8.3086 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aperlu} &= 8.3086 \text{ cm}^2 \\ &= 830.86 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai tulangan : D16-200 (A = 1004.8 mm²)

- $M_{ty} = - M_{ly}$

$$\text{Momen} = 1699.88 \text{ kg.m}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18.94 \times 169988}{100 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$Ca = 3.093$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 1.604 \geq 1,0 \quad \text{OK!}$$

$$\begin{aligned}
100\eta\omega &= \mathbf{11.97} \\
\omega &= \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} \\
\omega &= 0.00632 \\
A &= \omega \times b \times h \\
&= 0.00632 \times 100 \times 11,7 \\
&= 7.39435 \text{ cm}^2 \\
A_{\text{perlu}} &= 7.39435 \text{ cm}^2 \\
&= 739.435 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

dipakai tulangan : D16-250 (A = 803.84 mm²)

- **Kontrol Retak**

Kontrol retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton diluar bangunan yang tidak terlindung dari hujan terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada dilingkungan agresif adalah 0.01 cm (0.1 mm).

$$\begin{aligned}
\omega_p &= \frac{A}{b \times h} \\
\omega_p &= \frac{8.3086}{100 \times 11,7} \\
\omega_p &= 0.007101
\end{aligned}$$

dari Tabel 10.7.1 PBI '71 didapat :

$$\begin{aligned}
C3 &= 1,5 \\
C4 &= 0,04 \\
C5 &= 7,5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\omega &= \alpha \left(C3 \times c + C4 \times \frac{D}{\omega_p} \right) \times \left(\sigma_a - \frac{C_s}{\omega_p} \right) 10^{-6} \\
\omega &= 1 \left(1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{1,6}{0,00710} \right) \times \left(2250 - \frac{7,5}{0,00710} \right) 10^{-6}
\end{aligned}$$

$$\omega = 0.00223 \leq 0,01 \quad (\text{OK!})$$

➤ **PENULANGAN PLAT BOX CULVERT SISI BAWAH :**

Tabel 5.10. Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi bawah (SAP2000) :

Area	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
1502	COMB4	Combination	0,808473777	-0,548873	-1,03E-01	7,44E-01	-0,3229
1502	COMB4	Combination	-1,382283844	-2,082592	-1,07E-01	7,44E-01	-1,14775
1502	COMB4	Combination	0,257335596	1,3646227	-1,49E-01	-6,07E-02	-1,14775
1502	COMB4	Combination	0,033812322	0,4238007	-1,45E-01	-6,07E-02	-0,3229
1502	COMB5	Combination	1,285129355	0,1896783	-2,25E-01	1,15E+00	0,010114
1502	COMB5	Combination	-2,072609751	-1,829126	-1,36E-01	1,15E+00	-0,92196
1502	COMB5	Combination	-0,070570773	0,847518	-2,43E-01	0,133303	-0,92196
1502	COMB5	Combination	0,222849373	0,0700967	-3,32E-01	1,33E-01	0,010114
1502	COMB6	Combination	0,78876922	-0,573682	-1,01E-01	7,32E-01	-0,33425
1502	COMB6	Combination	-1,365435517	-2,096847	-1,06E-01	7,32E-01	-1,15552
1502	COMB6	Combination	0,269427084	1,3748172	-1,48E-01	-6,75E-02	-1,15552
1502	COMB6	Combination	0,025245373	0,4341947	-1,43E-01	-6,75E-02	-0,33425
1502	COMB7	Combination	0,908714407	0,0747766	-1,60E-01	8,36E-01	-0,02951
1502	COMB7	Combination	-1,51561174	-1,420612	-9,27E-02	8,36E-01	-0,71982
1502	COMB7	Combination	-0,017254667	0,6719719	-1,76E-01	8,50E-02	-0,71982
1502	COMB7	Combination	0,154236217	0,0964117	-2,43E-01	8,50E-02	-0,02951

- $M_{tx} = - M_{lx}$

$$\text{Momen} = 2072.610 \text{ kg.m}$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$C_a = \frac{11,7}{\left(\frac{18.94 \times 207261}{100 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$C_a = 2.801$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 1.410 \geq 1,0 \quad \text{OK!}$$

$$100\eta\omega = 14.72$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$\omega = 0.007772$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 0.007772 \times 100 \times 11,7$$

$$= 9.0931 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{perlu}} = 9.0931 \text{ cm}^2$$

$$= 909.31 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D16-200 (A = 1004.8 mm²)

- M_{ty} = - M_{ly}

$$\text{Momen} = 1829.13 \text{ kg.m}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18.94 \times 182913}{100 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$Ca = 2.982$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 1.535 \geq 1,1 \quad \text{OK!}$$

$$100\eta\omega = 12.95$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$\omega = 0.00684$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 0.00684 \times 100 \times 11,7$$

$$\begin{aligned}
 &= 7.99974 \text{ cm}^2 \\
 \text{Aperlu} &= 7.99974 \text{ cm}^2 \\
 &= 799.974 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

dipakai tulangan : **D16-250 (A = 803.84 mm²)**

- **Kontrol Retak**

$$\begin{aligned}
 \omega_p &= \frac{A}{b \times h} \\
 \omega_p &= \frac{9.0931}{100 \times 11,7} \\
 \omega_p &= 0,00758
 \end{aligned}$$

dari Tabel 10.7.1 PBI '71 didapat :

$$C3 = 1,5$$

$$C4 = 0,04$$

$$C5 = 7,5$$

$$\omega = \alpha \left(C3 \times c + C4 \times \frac{D}{\omega_p} \right) \times \left(\alpha - \frac{C5}{\omega_p} \right) 10^{-6}$$

$$\omega = 1 \left(1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{1,6}{0,00758} \right) \times \left(2250 - \frac{7,5}{0,00758} \right) 10^{-6}$$

$$\omega = 0,00562 \leq 0,01 \quad (\text{OK!})$$

➤ **PENULANGAN PLAT BOX CULVERT SISI LUAR :**

Tabel 5.11. Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi luar (SAP2000):

Area	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
1657	COMB4	Combination	0,745755929	4,4313345	-2,114724	-0,179669	3,54342
1657	COMB4	Combination	1,950261784	0,9356852	-0,895324	-0,179669	-1,38674
1657	COMB4	Combination	10,35796153	1,103027	-1,920161	-12,06105	-1,38674
1657	COMB4	Combination	-2,727920313	-0,331485	-3,14E+00	-12,06105	3,54342
1657	COMB5	Combination	0,042902084	0,4307486	0,180185	-0,355227	0,433032
1657	COMB5	Combination	0,263924874	1,2867199	0,0917534	-0,355227	1,667868
1657	COMB5	Combination	-0,779417133	-0,292716	0,2259574	0,922178	1,667868
1657	COMB5	Combination	0,27696497	0,0861479	0,314389	0,922178	0,433032
1657	COMB6	Combination	0,748114783	4,43E+00	-2,12E+00	-1,78E-01	3,53823
1657	COMB6	Combination	1,951909916	0,9191228	-8,98E-01	-1,78E-01	-1,41049
1657	COMB6	Combination	10,37369694	1,1088487	-1,92E+00	-12,07532	-1,41049
1657	COMB6	Combination	-2,727870811	-3,33E-01	-3,15E+00	-12,07532	3,53823
1657	COMB7	Combination	0,020712432	3,41E-01	1,28E-01	-0,269786	0,341828
1657	COMB7	Combination	0,182136622	1,02E+00	6,02E-02	-0,269786	1,317752
1657	COMB7	Combination	-0,62932174	-2,28E-01	1,69E-01	0,7227	1,317752
1657	COMB7	Combination	0,20174046	6,71E-02	2,36E-01	0,7227	0,341828

- $M_{tx} = - M_{lx}$

Momen = 10373.697 kg.m

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18,94 \times 1037369,7}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

Ca = 2.636

δ = 0

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

Φ = **1,294** ≥ 1,0 OK!

$$\begin{aligned}
100\eta\omega &= \mathbf{16,85} \\
\omega &= \frac{100\eta\omega}{18,94 \times 100} \\
\omega &= 0,00890 \\
A &= \omega \times b \times h \\
&= 0,00890 \times 100 \times 11,7 \\
&= 19,17199 \text{ cm}^2 \\
A_{\text{perlu}} &= 19,17199 \text{ cm}^2 \\
&= 1917,199 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

dipakai tulangan : D19-150 (A = 1889,233mm²)

- $M_{ty} = - M_{ly}$
Momen = 1108.85 kg.m

$$\begin{aligned}
Ca &= \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}} \\
Ca &= \frac{11,7}{\left(\frac{18,94 \times 793697}{100 \times 2250} \right)^{0,5}} \\
Ca &= 7,054 \\
\delta &= 0
\end{aligned}$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\begin{aligned}
\Phi &= \mathbf{4,347} \geq 1,1 \quad \text{OK!} \\
100\eta\omega &= \mathbf{2,138} \\
\omega &= \frac{100\eta\omega}{18,94 \times 100} \\
\omega &= 0,001129 \\
A &= \omega \times b \times h \\
&= 0,001129 \times 100 \times 11,7 \\
&= 2,432624 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aperlu} &= 4,0885 \text{ cm}^2 \\ &= 408,85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai tulangan : **D19-500** ($A = 566,77\text{mm}^2$)

- **Kontrol Retak**

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

$$\omega_p = \frac{19,17199}{100 \times 11,7}$$

$$\omega_p = 0,0088965$$

dari Tabel 10.7.1 PBI '71 didapat :

$$C3 = 1,5$$

$$C4 = 0,04$$

$$C5 = 7,5$$

$$\omega = \alpha \left(C3 \times c + C4 \times \frac{D}{\omega_p} \right) \times \left(\sigma_u - \frac{C_s}{\omega_p} \right) 10^{-6}$$

$$\omega = 1 \left(1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{1,9}{0,008896} \right) \times \left(2250 - \frac{7,5}{0,008896} \right) 10^{-6}$$

$$\omega = 0,0093 \leq 0,01 \text{ (OK!)}$$

➤ **PENULANGAN PLAT BOX CULVERT SISI DALAM :**

Tabel 5.12. Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi dalam(SAP2000) :

Area	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
1821	COMB4	Combination	0,8647492	-0,23866	-0,052431	0,304307	-0,75046
1821	COMB4	Combination	-0,544611	-0,59197	-0,060678	0,304307	-0,35163
1821	COMB4	Combination	-0,446177	-0,23869	-0,083113	0,307566	-0,35163
1821	COMB4	Combination	0,9794764	0,51345	-0,074866	0,307566	-0,75046
1821	COMB5	Combination	-0,080792	0,14978	-0,008313	-0,01685	0,301131
1821	COMB5	Combination	0,0284387	0,04274	-0,027565	-0,01685	0,146516
1821	COMB5	Combination	0,0171417	-0,09993	-0,032563	-0,03362	0,146516
1821	COMB5	Combination	-0,175966	-0,1475	-0,01331	-0,03362	0,301131
1821	COMB6	Combination	0,888289	-0,24818	-0,053196	0,312703	-0,77609
1821	COMB6	Combination	-0,559552	-0,61254	-0,061207	0,312703	-0,36652
1821	COMB6	Combination	-0,458608	-0,24442	-0,084342	0,316621	-0,36652
1821	COMB6	Combination	1,0088194	0,52951	-0,076331	0,316621	-0,77609
1821	COMB7	Combination	-0,145304	0,0608	0,003479	-0,03806	0,175206
1821	COMB7	Combination	0,0649615	0,0232	-0,003568	-0,03806	0,108532
1821	COMB7	Combination	0,0415476	-0,08392	-0,007563	-0,04128	0,108532
1821	COMB7	Combination	-0,18484	-0,11299	-0,000515	-0,04128	0,175206
1860	COMB4	Combination	-0,167709	-0,91532	0,008096	0,047147	-0,7177
1860	COMB4	Combination	-0,370567	-1,08484	0,011283	0,047147	-0,81619
1860	COMB4	Combination	-0,219735	-0,26928	0,004707	0,048731	-0,81619
1860	COMB4	Combination	-0,008958	-0,19825	0,00152	0,048731	-0,7177
1860	COMB5	Combination	-0,014083	-0,02813	-0,002765	-0,00707	0,080173
1860	COMB5	Combination	0,0214716	-0,02102	-0,001731	-0,00707	0,080386
1860	COMB5	Combination	0,0076242	-0,10161	-0,001768	-0,00777	0,080386
1860	COMB5	Combination	-0,031438	-0,10851	-0,002802	-0,00777	0,080173
1860	COMB6	Combination	-0,17261	-0,94597	0,00762	0,04902	-0,74457
1860	COMB6	Combination	-0,383738	-1,12208	0,011252	0,04902	-0,84782
1860	COMB6	Combination	-0,226503	-0,27499	0,004458	0,050461	-0,84782
1860	COMB6	Combination	-0,008172	-0,20213	0,000826	0,050461	-0,74457
1860	COMB7	Combination	0,0012773	-0,00444	-0,006401	-0,00905	0,081764
1860	COMB7	Combination	0,0423068	0,01893	-0,003929	-0,00905	0,091
1860	COMB7	Combination	0,0284685	-0,07257	-0,00309	-0,00999	0,091
1860	COMB7	Combination	-0,017262	-0,0867	-0,005561	-0,00999	0,081764

- $M_{tx} = -M_{lx}$
Momen = 1122,077 kg.m

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18,94 \times 112207,7}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 3,807$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 2,086 \geq 1,0 \quad \text{OK!}$$

$$100\eta\omega = 7,765$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18,94 \times 100}$$

$$\omega = 0,00410$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 0,00410 \times 100 \times 11,7$$

$$= 4,7968 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 4,7968 \text{ cm}^2$$

$$= 479,68 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D16-500 (A = 401,92mm²)

- $M_{ty} = -M_{ly}$
Momen = 1008,82 kg.m

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{ly}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$Ca = \frac{11,7}{\left(\frac{18,94 \times 100882}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 4,015$$

$$\delta = 0$$

dari "Tabel lentur cara n" didapat :

$$\Phi = 2,236 \geq 1,1 \quad \text{OK!}$$

$$100\eta\omega = 6,909$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18,94 \times 100}$$

$$\omega = 0,00365$$

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= 0,00365 \times 100 \times 11,7 \\ &= 4,26797 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{perlu}} &= 4,26797 \text{ cm}^2 \\ &= 426,797 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

dipakai tulangan : D16-500 (A = 401,92 mm²)

- **Kontrol Retak**

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

$$\omega_p = \frac{4,7968}{100 \times 11,7}$$

$$\omega_p = 0,0040998$$

dari Tabel 10.7.1 PBI '71 didapat :

$$C3 = 1,5$$

$$C4 = 0,04$$

$$C5 = 7,5$$

$$\varpi = \alpha \left(C3 \times c + C4 \times \frac{D}{\varpi p} \right) \times \left(\sigma u - \frac{Cs}{\varpi p} \right) 10^{-6}$$

$$\varpi = 1 \left(1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{1,6}{0,0040998} \right) \times \left(2250 - \frac{7,5}{0,0040998} \right) 10^{-6}$$

$$\omega = -0,009857 \leq 0,01 \quad (\text{OK!})$$

5.7.1.4. Kontrol Lendutan

$$\begin{aligned} 1/35 Lx &= 0,0857 \text{ m} \\ &= 8,571 \text{ cm} \\ h &= 11,7 \text{ cm} \geq 8,57143 \text{ cm} \rightarrow \text{OK!} \end{aligned}$$

Tabel 5.13. Tabel Penulangan Plat Box Culvert

Type Plat Box Culvert	Daerah	Arah	h	M.Rencana	Ca	$\Phi' = (1,1)$		$100\eta\omega$	Tulangan yang diperlukan		
						Φ	$\Phi > \Phi'$		Aperlu	Tulangan	Apakai
			(cm)	(kg.m)					(cm ²)	pakai	(cm ²)
Atas	Mtx = - Mlx	X	11,7	1895.300	2.929	1.491	OK!	1.491	8.3086	D16-200	10,048
	Mty = - Mly	Y	11,7	1699.88	3.093	1.604	OK!	11.97	7.39435	D16-250	8,0384
Bawah	Mtx = - Mlx	X	11,7	2072.610	2.801	1.410	OK!	14.72	9.0931	D16-200	10,048
	Mty = - Mly	Y	11,7	1829.13	2.982	1.535	OK!	12.95	7.99974	D16-250	8,0384
Luar	Mtx = - Mlx	X	11,7	10373.697	2.636	1,294	OK!	16,85	35.9428	D19-150	18,8923
	Mty = - Mly	Y	11,7	1108.85	7,054	4,347	OK!	2,138	4,0885	D19-500	5,6677
Dalam	Mtx = - Mlx	X	11,7	1122,077	3,807	2,086	OK!	7,765	4,7968	D16-500	4,0192
	Mty = - Mly	Y	11,7	1008,82	4,015	2,236	OK!	6,909	4,26797	D16-500	4,0192

Sumber : Perhitungan

Tabel 5.14. Tabel Penulangan Balok Box Culvert

Type Balok	Daerah	h	M.Rencana	D	T	Ca	$\Phi' = (1,1)$		100 $\eta\omega$	ξ		Aperlu (cm ²)	Apakai (cm ²)	Tulangan pakai
		(cm)	(kg.m)	(kg)	(kg.m)		Φ	$\Phi > \Phi' = 1,1$						
Balok Melintang	Tumpuan	71,9	10589,896	35792,21	725,4748	5,5956	3,446	OK!	3,493	0,223	tarik	7,159	803,84	4-D16
											tekan	2,864	401,92	2-D16
	Lapangan	71,9	6423,189	35792,21	725,4748	7,1848	10,25	OK!	2,056	0,18	tarik	4,214	803,84	4-D16
											tekan	1,686	401,92	2-D16
Balok Memanjang	Tumpuan	71,9	8787,020	5123,27	2012,0	7,1848	3,834	OK!	2,856	0,207	tarik	5,854	602,88	3-D16
											tekan	2,341	401,92	2-D16
	Lapangan	71,9	4168,320	5123,27	2012,0	8,9189	5,736	OK!	1,325	0,148	tarik	2,716	401,92	2-D16
											tekan	1,086	401,92	2-D16
Balok Tegak	Tumpuan	71,9	15135,137	35967,34	2313,289	4,6806	2,846	OK!	5	0,26	tarik	10,248	1205,76	6-D16
											tekan	4,099	602,88	3-D16
	Lapangan	71,9	10043,8307	35967,34	2313,289	5,7457	3,557	OK!	3,28	0,219	tarik	6,723	803,84	4-D16
											tekan	2,689	401,92	2-D16

Sumber : Perhitungan

5.7.1.5. Distribusi Beban Pelat Pada Balok

➤ Balok melintang

Untuk distribusi beban pelat pada balok diketahui beban ekuivalen yang bekerja merupakan beban segi tiga dan beban trapesium.

Karena beban yang diterima oleh tiap-tiap plat berbeda-beda, maka pendistribusian beban pada tiap-tiap balok juga berbeda- beda.

Berikut adalah contoh perhitungan distribusi beban pada balok melintang atas dan balok melintang bawah.

- *Akibat beban mati* (q_{DL}):

Beban segitiga :

$$q_{ek} = \frac{2}{3} \times p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times q_{DL} \times lx = \frac{1}{3} \times q_{DL} \times lx$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} \times 0,502 \times 3$$

$$q_{ek} = 0,502 \text{ t/m}$$

Beban Trapesium :

Tidak ada.

Sehingga $q_{DL} = 0,502 \text{ t/m}$.

- *Akibat beban hidup*(q_{LL}): :

Beban segitiga :

$$q_{ek} = \frac{2}{3} \times p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times q_{LL} \times lx = \frac{1}{3} \times q_{LL} \times lx$$

$$q_{ek} = \frac{1}{3} \times 6,553 \times 3$$

$$q_{ek} = 6,553 \text{ t/m}$$

Beban Trapesium :

Tidak ada.

Sehingga $q_{LL} : 6,553 \text{ t/m}$.

Jadi pembebanan pada balok melintang boks culvert adalah :

- beban mati (q_{DL}) = 0,502 t/m.
- beban hidup (q_{LL}) = 6,553 t/m.

➤ **Balok memanjang**

- *Akibat beban mati* (q_{DL}):

Beban segitiga :

Tidak ada.

Beban Trapesium :

$q_{ek} = 2 \times$ Beban Trapesium

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{2} \times q_{DL} \times l_x \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right)$$

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{2} \times 0,502 \times 3 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{3^2}{5^2} \right)$$

$$q_{ek} = 1,325 \text{ t/m}$$

Sehingga $q_{DL} = 1,325 \text{ t/m}$.

- *Akibat beban hidup* (q_{LL}):

Beban segitiga :

Tidak ada.

Beban Trapesium :

$q_{ek} = 2 \times$ Beban Trapesium

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{2} \times q_{LL} \times l_x \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{l_x^2}{l_y^2} \right)$$

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{2} \times 6,553 \times 3 \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{3^2}{5^2} \right)$$

$$q_{ek} = 17,3 \text{ t/m}$$

Sehingga $q_{LL} : 17,3 \text{ t/m}$.

Jadi pembebanan pada balok memanjang boks culvert adalah :

- beban mati (q_{DL}) = 1,325 t/m.

- beban hidup (q_{LL}) = 17,3 t/m.

➤ **Balok Tegak**

- *Akibat beban mati* (q_{DL}):

$$q_{ek} = 2 \times \text{Beban segitiga}$$

Beban segitiga :

$$q_{ek} = 2 \times \frac{2}{3} \times p = 2 \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times q_{DL} \times lx = 2 \times \frac{1}{3} \times q_{DL} \times lx$$

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{3} \times 0,502 \times 3$$

$$q_{ek} = 1,004 \text{ t / m}$$

Beban Trapesium :

Tidak ada.

Sehingga $q_{DL} = 1,044 \text{ t/m}$.

- *Akibat beban hidup* (q_{LL}):

$$q_{ek} = 2 \times \text{Beban segitiga}$$

Beban segitiga :

$$q_{ek} = 2 \times \frac{2}{3} \times p = 2 \times \frac{2}{3} \times \frac{1}{2} \times q_{LL} \times lx = 2 \times \frac{1}{3} \times q_{LL} \times lx$$

$$q_{ek} = 2 \times \frac{1}{3} \times 6,553 \times 3$$

$$q_{ek} = 13,106 \text{ t / m}$$

Beban Trapesium :

Tidak ada.

Sehingga $q_{DL} = 13,106 \text{ t/m}$.

Jadi pembebanan pada balok tegak boks culvert adalah :

- beban mati (q_{DL}) = 1,044 t/m.
- beban hidup (q_{LL}) = 13,106 t/m.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.15. dan Tabel 5.16.

Tabel 5.15. Distribusi beban plat pada balok akibat beban mati.

Type	L	Dimensi	qDL	Lx	Ly	qDL (kg / m)		qek
balok	(m)	(cm)	(t/m)	(m)	(m)	Segitiga	Trapesium	(kg/m)
B. melintang	3	50/80	0,502	3	5	0,502	0	0,502
B. memanjang	5	50/80	0,502	3	5	0	0,663	1,325
B. tegak	3	50/80	0,502	3	3	0,502	0	1,004

Tabel 5.16. Distribusi beban plat pada balok akibat beban hidup.

Type	L	Dimensi	qLL	Lx	Ly	qLL (kg / m)		qek
balok	(m)	(cm)	(kg/m)	(m)	(m)	Segitiga	Trapesium	(kg/m)
B. melintang	3	50/80	6,553	3	5	6,553	0	6,553
B. memanjang	5	50/80	6,553	3	5	0	8,650	17,300
B. tegak	3	50/80	6,553	3	5	6,553	0	13,106

5.7.1.6. Penulangan Lentur Balok (Menggunakan Lentur Cara “N”)

$$h_t = 80 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$d = 7,5 \text{ cm (Lihat Gambar 5.15).}$$

$$\Phi_{\text{sengkang}} = 1,6 \text{ cm}$$

$$h = h_t - d - 0,5 \times \Phi_{\text{sengkang}}$$

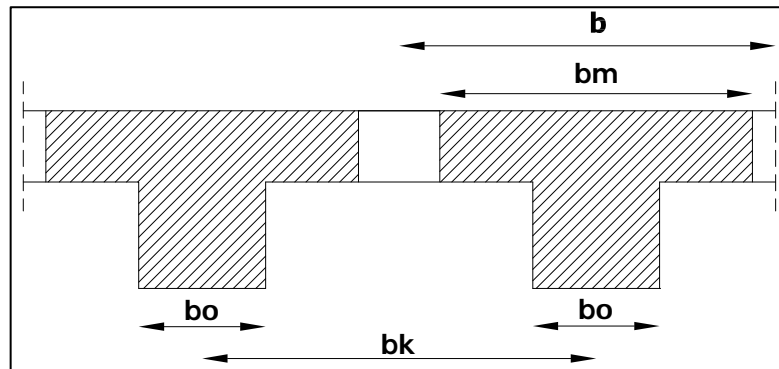
$$= 71,9 \text{ cm}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 18,94$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18,94 \times 115,5} = 1,0$$



Gambar 5.15. Dimensi Balok

$$I_o = 300 \text{ cm}$$

$$b_k = 500 \text{ cm}$$

$$b_o = 50 \text{ cm}$$

➤ **BALOK MELINTANG**

Balok dianggap sebagai balok T.

Lebar mamfaat flens balok T diambil dari nilai terkecil b_m (PBI 1971 pasal 10.8.3) di bawah ini :

$$1. \quad b_m \leq b_o + \frac{I_o}{5}$$

$$b_m \leq 50 + \frac{300}{5}$$

$$b_m \leq 110$$

$$2. \quad b_m \leq b_o + \frac{I_o}{10} + \frac{b_k}{2}$$

$$b_m \leq 50 + \frac{300}{10} + \frac{500}{2}$$

$$b_m \leq 330$$

$$3. \quad b_m \leq b_k$$

$$b_m \leq 500$$

$$\text{diambil } b_m = 110$$

Dari hasil SAP 2000 didapatkan momen, gaya lintang dan torsi maksimum yang bekerja pada balok melintang box culvert. Lebih jelasnya lihat Tabel 5.17. di bawah ini :

Tabel 5.17. Gaya maksimum yang terjadi pada balok melintang (SAP2000).

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
609	0	COMB4	Combination	-127.60257	-29.130329	-1.60E-01	-4.91E-02	2.99E+00	-50.069409
609	0.5	COMB4	Combination	-127.60257	-28.625741	-1.60E-01	-4.91E-02	3.07E+00	-35.630392
609	1	COMB4	Combination	-127.60257	-28.121153	-1.60E-01	-4.91E-02	3.15E+00	-21.443668
609	1.5	COMB4	Combination	-127.60257	-27.616565	-1.60E-01	-4.91E-02	3.23E+00	-7.5092383
609	2	COMB4	Combination	-127.60257	-27.111977	-1.60E-01	-4.91E-02	3.31E+00	6.1728973
609	2.5	COMB4	Combination	-127.60257	-26.607389	-1.60E-01	-4.91E-02	3.39E+00	19.602739
609	3	COMB4	Combination	-127.60257	-26.102801	-1.60E-01	-4.91E-02	3.47E+00	32.780287
609	0	COMB5	Combination	15.1582	-21.666362	-3.19E-01	-4.48E-01	-8.33E-01	-39.833326
609	0.5	COMB5	Combination	15.1582	-21.161774	-3.19E-01	-4.48E-01	-6.73E-01	-29.126292
609	1	COMB5	Combination	15.1582	-20.657186	-3.19E-01	-4.48E-01	-5.13E-01	-18.671552
609	1.5	COMB5	Combination	15.1582	-20.152598	-3.19E-01	-4.48E-01	-3.54E-01	-8.4691056
609	2	COMB5	Combination	15.1582	-19.64801	-3.19E-01	-4.48E-01	-1.94E-01	1.4810466
609	2.5	COMB5	Combination	15.1582	-19.143422	-3.19E-01	-4.48E-01	-3.45E-02	11.178905
609	3	COMB5	Combination	15.1582	-18.638834	-3.19E-01	-4.48E-01	1.25E-01	20.624469
609	0	COMB6	Combination	-131.05485	-29.355212	-0.1484058	-3.90E-02	3.0820748	-50.564303
609	0.5	COMB6	Combination	-131.05485	-28.850624	-0.1484058	-3.90E-02	3.16E+00	-36.012843
609	1	COMB6	Combination	-131.05485	-28.346036	-0.1484058	-3.90E-02	3.23E+00	-21.713678
609	1.5	COMB6	Combination	-131.05485	-27.841448	-0.1484058	-3.90E-02	3.30E+00	-7.6668072
609	2	COMB6	Combination	-131.05485	-27.33686	-0.1484058	-3.90E-02	3.3788864	6.1277699
609	2.5	COMB6	Combination	-131.05485	-26.832272	-0.1484058	-3.90E-02	3.4530893	19.670053
609	3	COMB6	Combination	-131.05485	-26.327684	-0.1484058	-3.90E-02	3.5272922	32.960042
609	0	COMB7	Combination	20.375696	-17.387267	-0.3289633	-4.09E-01	-1.0900313	-31.640202
609	0.5	COMB7	Combination	20.375696	-16.882679	-0.3289633	-4.09E-01	-0.9255497	-23.072715
609	1	COMB7	Combination	20.375696	-16.378091	-0.3289633	-4.09E-01	-0.761068	-14.757523
609	1.5	COMB7	Combination	20.375696	-15.873503	-0.3289633	-4.09E-01	-0.5965864	-6.6946243
609	2	COMB7	Combination	20.375696	-15.368915	-0.3289633	-4.09E-01	-0.4321048	1.1159801
609	2.5	COMB7	Combination	20.375696	-14.864327	-0.3289633	-4.09E-01	-0.2676231	8.6742906
609	3	COMB7	Combination	20.375696	-14.359739	-0.3289633	-4.09E-01	-0.1031415	15.980307

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 50564.30 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{71,6}{\left(\frac{18.94 \times 5056430}{50 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 2.925$$

Untuk $\delta = 0,4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = \mathbf{1.703} \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = \mathbf{13.11}$$

$$\xi = \mathbf{0.370}$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= \mathbf{0,370} \times 71,6 \\ &= 26.47 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{13.11}{18.94 \times 100} \times 50 \times 71,6 \\ &= 24.76 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 24.76 \text{ cm}^2 = 2476 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **9D 19 (A = 2550 mm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0,4 \times 24.76 \\ &= 9.905 \text{ cm}^2 = 990.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **4D 19 (A =1134 mm²)**

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{lapangan} = 7666.8072 \text{ kg.m}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{71,6}{\left(\frac{18.94 \times 766680.75}{50 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 6.298$$

$$\text{Untuk } \delta = 0,4 \text{ dari Tabel Lentur cara n didapat :}$$

$$\Phi = 3.878 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 2.790$$

$$\xi = 0.205$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,205 \times 71,6 \\ &= 14.668 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{2.790}{18.98 \times 100} \times 50 \times 71,6 \\ &= 5.2699 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 5.2699 \text{ cm}^2 = 526.99 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **2D19 (A = 566.8 cm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0,4 \times 5.2699 \\ &= 2.1080 \text{ cm}^2 = 210.80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **2D19 (A = 566.8 cm²)**

- **Kontrol Dimensi Balok**

$$D = 29355.21 \text{ kg}$$

$$Mt = 39.019 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times ht} \\ &= \frac{29355.21}{50 \times \frac{7}{8} \times 71,6} \\ &= 9.3777 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

untuk $ht > b$

$$\begin{aligned} \psi &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{ht}{b} \right)} \\ &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{71,6}{50} \right)} \end{aligned}$$

$$\psi = 4,38$$

$$\begin{aligned} \tau'_b &= \frac{\psi \times T}{b^2 \times ht} \\ &= \frac{4,38 \times 39.019}{2500 \times 71,6} \\ &= 0.0956 \end{aligned}$$

$$\tau_b + \tau'_b = 9.3777 + 0.0956 = 9.47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &= 1,35 \times \sqrt{300} \\ &= 23.383 > 9.47 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

Ukuran balok memenuhi syarat (50 cm x 80 cm)

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan **PBI '71**

Tabel 10.4.2:

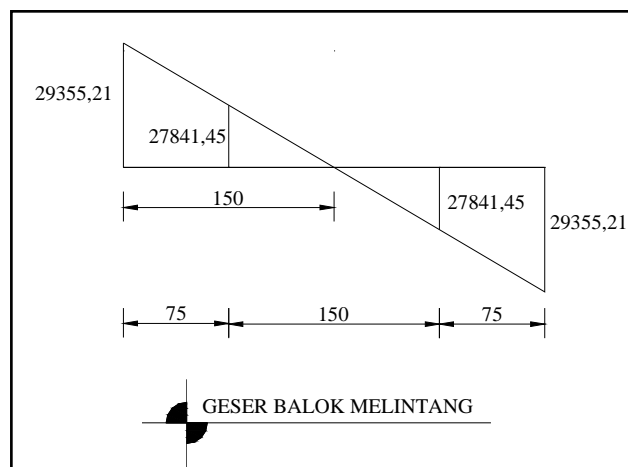
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0,43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0,68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.16. Gaya Geser Balok Melintang

Luasan I

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{29355.21}{50 \times 7/8 \times 71,6} = 9.37 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b = 9.37 \text{ kg/cm}^2 > \tau_{b-t} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$, sehingga pada balok melintang diperlukan tulangan geser. (PBI '71 pasal 11.7.3).

Tulangan geser yang diterima sengkang adalah :

$$\tau_t = \tau_b - \tau_{b-t} = 9.37 - 7.54 = 1.83 \text{ kg/cm}^2 > 0, \text{ dipasang tulangan geser.}$$

Direncanakan \emptyset sengkang 12 mm.

Jarak sengkang minimum :

$$\begin{aligned} \text{PBI pasal 9.3.6 :} \quad s &\leq 30 \text{ cm} \\ s &\leq 2/3 h = 2/3 \times 80 \\ &= 53,333 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As sengkang} &= 2A_s = 2 \times 1.13 \\ &= 2.26 \text{ cm}^2 \quad ; \text{ jarak sengkang (as} = 30 \text{ cm)}. \end{aligned}$$

$$\tau_s = \frac{A_s x \sigma_{au}}{a_s x b} = \frac{2.26 \times 3390}{30 \times 50} = 5.1076 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI 11.7.3})$$

$$\tau_s = 5.1076 \text{ kg/cm}^2 \geq \tau = 1.83 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{OK!}) \quad (\text{PBI 11.7.2})$$

Jadi tulangan geser yang dipakai adalah $\emptyset 12 - 300$

Luasan II

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{27841.45}{50 \times 7/8 \times 71.6} = 8.888 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b = 8.888 \text{ kg/cm}^2 > \tau_{b-t} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$, sehingga pada balok melintang diperlukan tulangan geser. (PBI '71 pasal 11.7.3).

$$\tau = \tau_b - \tau_{b-t} = 8.888 - 7.54 = 1.348 \text{ kg/cm}^2 > 0, \text{ dipasang tulangan geser.}$$

Tulangan geser yang diterima sengkang adalah :

Direncanakan \emptyset sengkang 12 mm.

Jarak sengkang minimum :

$$\begin{aligned} \text{PBI pasal 9.3.6 :} \quad s &\leq 30 \text{ cm} \\ s &\leq 2/3 h = 2/3 \times 80 \\ &= 53,333 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As sengkang} &= 2A_s = 2 \times 1.13 \\ &= 2.26 \text{ cm}^2 \quad ; \text{ jarak sengkang (as} = 30 \text{ cm)}. \end{aligned}$$

$$\tau_s = \frac{A_s x \sigma_{au}}{a_s x b} = \frac{2.26 \times 3390}{30 \times 50} = 5.1076 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{PBI 11.7.3})$$

$$\tau_s = 5.1076 \text{ kg/cm}^2 \geq \tau = 1.348 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{OK!}) \quad (\text{PBI 11.7.2})$$

Jadi tulangan geser yang dipakai adalah $\emptyset 12 - 300$

- **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan *PBI 1971 pasal 11.8.6* perlu adanya tulangan memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{3901,90 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80}$$

$$= 0,05636 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$

$$A_s = 1,1314 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

$$2D 12 (A_s = 2,263 \text{ cm}^2) \geq A_{\text{mem}} \quad (\text{OK!})$$

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm (PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{24.76}{50 \times 71,6} = 0,0069$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan

persamaan :

$$w = \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6}$$

$$= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{19}{0,0069} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,0069} \right] \times 10^{-6}$$

$$= -0,141 < 0,01 \quad (\text{OK!})$$

➤ **BALOK MEMANJANG**

Balok dianggap sebagai balok T

Lebar mamfaat flens balok T diambil dari nilai terkecil Bm (PBI 1971 pasal 10.8.4) di bawah ini :

$$1. \quad bm \leq bo + \frac{lo}{10}$$

$$bm \leq 50 + \frac{300}{10}$$

$$bm \leq 80$$

$$2. \quad bm \leq 300$$

$$\text{diambil } bm = 80$$

Tabel 5.18. Gaya maksimum yang terjadi pada balok memanjang (SAP2000):

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
475	0	COMB6	Combination	-102.04371	-2.9797776	14.932439	11.642765	18.817233	-8.9174109
475	0.5	COMB6	Combination	-102.04371	-2.4751896	14.932439	11.642765	11.351013	-7.5536691
475	1	COMB6	Combination	-102.04371	-1.9706016	14.932439	11.642765	3.8847933	-6.4422213
475	1	COMB6	Combination	-86.121264	-4.3704301	11.386559	6.8307633	3.4494038	-6.4424073
475	1.5	COMB6	Combination	-86.121264	-3.8658421	11.386559	6.8307633	-2.2438757	-4.3833392
475	2	COMB6	Combination	-86.121264	-3.3612541	11.386559	6.8307633	-7.9371553	-2.5765651
475	2	COMB6	Combination	-73.129939	-4.4057902	1.4369666	-0.5585428	-8.0119181	-2.9260856
475	2.5	COMB6	Combination	-73.129939	-3.9012022	1.4369666	-0.5585428	-8.7304014	-0.8493376
475	3	COMB6	Combination	-73.129939	-3.3966142	1.4369666	-0.5585428	-9.4488847	0.9751165
475	3	COMB6	Combination	-62.283777	-4.1901234	-8.5261222	-7.9036666	-9.4193926	0.8566662
475	3.5	COMB6	Combination	-62.283777	-3.6855354	-8.5261222	-7.9036666	-5.1563315	2.8255809
475	4	COMB6	Combination	-62.283777	-3.1809474	-8.5261222	-7.9036666	-0.8932704	4.5422017
475	4	COMB6	Combination	-49.990777	-0.2001737	-11.834852	-12.5177	-0.4926658	4.3036079
475	4.5	COMB6	Combination	-49.990777	0.3044143	-11.834852	-12.5177	5.4247602	4.2775478
475	5	COMB6	Combination	-49.990777	0.8090023	-11.834852	-12.5177	11.342186	3.9991936
475	0	COMB7	Combination	11.261636	-1.8235165	0.1755805	0.8162235	-0.4431573	-0.9586991
475	0.5	COMB7	Combination	11.261636	-1.3189285	0.1755805	0.8162235	-0.5309476	-0.1730878
475	1	COMB7	Combination	11.261636	-0.8143405	0.1755805	0.8162235	-0.6187378	0.3602294
475	1	COMB7	Combination	12.639463	-0.8891249	-0.4310617	0.2122998	-0.594445	0.3069165
475	1.5	COMB7	Combination	12.639463	-0.3845369	-0.4310617	0.2122998	-0.3789142	0.6253319
475	2	COMB7	Combination	12.639463	0.1200511	-0.4310617	0.2122998	-0.1633833	0.6914534
475	2	COMB7	Combination	12.972201	-0.398373	-0.2937834	0.0654244	-0.1631267	0.6999176
475	2.5	COMB7	Combination	12.972201	0.106215	-0.2937834	0.0654244	-0.016235	0.7729571

475	3	COMB7	Combination	12.972201	0.610803	-0.2937834	0.0654244	0.1306567	0.5937026
475	3	COMB7	Combination	11.955303	0.1243732	-0.1636117	-0.0723941	0.1381963	0.6066366
475	3.5	COMB7	Combination	11.955303	0.6289612	-0.1636117	-0.0723941	0.2200022	0.418303
475	4	COMB7	Combination	11.955303	1.1335492	-0.1636117	-0.0723941	0.301808	-0.0223246
475	4	COMB7	Combination	9.8806963	0.9850407	-0.7425509	-0.624394	0.2865949	-0.0186295
475	4.5	COMB7	Combination	9.8806963	1.4896287	-0.7425509	-0.624394	0.6578703	-0.6372969
475	5	COMB7	Combination	9.8806963	1.9942167	-0.7425509	-0.624394	1.0291458	-1.5082583

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 8917.41 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115.5} = 1.0$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_l x}{b \times \sigma_a}}}$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_l x}{b \times \sigma_a}}}$$

$$C_a = \frac{71.6}{\left(\frac{18.94 \times 891741}{50 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$C_a = 5.840$$

$$\text{Untuk } \delta = 0.4 \quad \text{dari Tabel Lentur cara n didapat :}$$

$$\Phi = 3.611 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 3.225$$

$$\xi = 0.212$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0.212 \times 71.6 \\ &= 15.17 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= 3.225 \times 50 \times 71.6 \end{aligned}$$

$$= 6.0916 \text{ cm}^2$$

$$\text{Atarik} = 6.0916 \text{ cm}^2 = 609.16 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **4D19 (A = 1134 cm²)**

$$A' = \delta \times A$$

$$= 0.4 \times 10.40$$

$$= 4.16 \text{ cm}^2 = 146 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **2D19 (A = 566.8 cm²)**

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 7553.669 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{2250} = 1.0$$

$$Ca = \frac{18.94 \times 115.5}{h} \sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}$$

$$Ca = \frac{71.6}{\left(\frac{18.94 \times 755366.9}{50 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$Ca = 6.3448$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 3.925 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 2.751$$

$$\xi = 0.202$$

$$\text{garis normal} = \xi \times h$$

$$= 0.202 \times 71.6$$

$$= 14.453 \leq t \text{ plat (OK!)}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$A = \omega \times b \times h$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2.751}{18.94 \times 100} \times 50 \times 71.6 \\
&= 5.1963 \text{ cm}^2 \\
\text{Atarik} &= 5.1963 \text{ cm}^2 = 519.63 \text{ mm}^2 \\
\text{Jadi untuk tulangan tarik dipakai : } &\mathbf{2D19} \quad (\mathbf{A = 566.8 \text{ cm}^2}) \\
A' &= \delta \times A \\
&= 0.4 \times 5.1963 \\
&= 2.078 \text{ cm}^2 = 207.8 \text{ mm}^2 \\
\text{Jadi untuk tulangan tekan dipakai : } &\mathbf{2D19} \quad (\mathbf{A = 566.8 \text{ cm}^2})
\end{aligned}$$

- **Kontrol Dimensi Balok**

$$\begin{aligned}
D &= 4405.79 \text{ kg} \\
T &= 6830.79 \text{ kg.m} \\
\tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times ht} \\
&= \frac{4405.79}{50 \times \frac{7}{8} \times 71.6} \\
&= 1.4075 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

untuk $ht > b$

$$\begin{aligned}
\psi &= 3 + \frac{2.6}{\left(0.45 + \frac{ht}{b}\right)} \\
&= 3 + \frac{2.6}{\left(0.45 + \frac{71,6}{50}\right)} \\
&= 4.38 \\
\tau'_b &= \frac{\psi \times T}{b^2 \times ht}
\end{aligned}$$

$$= \frac{4.38}{2500} \times \frac{6830.79}{71.6}$$

$$= 16.73$$

$$= 16.73$$

$$\tau_b + \tau'_b = 1.4075 + 16.73 = 18.14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1.35 \times \sqrt{300} = 23.383 > 18.14 \quad (\text{OK!})$$

Ukuran balok memenuhi syarat (50 cm x 80 cm)

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan *PBI '71 Tabel*

10.4.2:

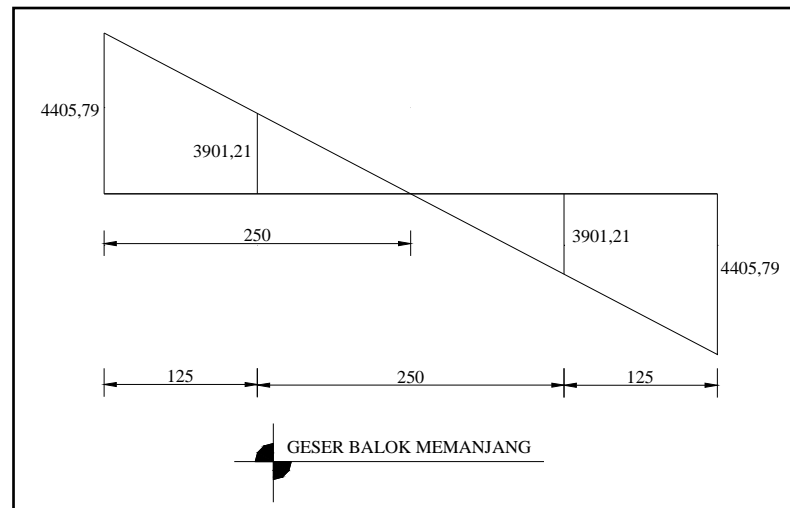
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0.43 \times \sqrt{300} = 7.45 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0.68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^3$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.17. Gaya Geser Balok Memanjang

Luasan I

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{4405.79}{50 \times 7/8 \times 71.6} = 1.406 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau b = 1.406 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-t = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-s = 11.78 \text{ kg/cm}^2$,
 sehingga sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan
 praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 :

$$s \leq 30 \text{ cm}$$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 80$$

$$= 53,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

Luasan II

$$tb = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{3901.21}{50 \times 7/8 \times 71.6} = 1.245 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau b = 1.245 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-t = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-s = 11.78 \text{ kg/cm}^2$,
 sehingga sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan
 praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 :

$$s \leq 30 \text{ cm}$$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 80$$

$$= 53,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

• **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan **PBI 1971 pasal 11.8.6** perlu adanya tulangan
 memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{Mt \times Ut}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi t} = \frac{6930,79 \times (50 + 80)}{2 \times 2250 \times 50 \times 80}$$

$$= 0,1001 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$

$$As = 1,1314 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

$$2D 12 (As = 2,263 \text{ cm}^2) \geq A_{\text{mem}} \text{ (OK!)}$$

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum yang diijinkan adalah 0.01cm

(PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{6.0916}{50 \times 71,6} = 0,0017$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan

persamaan :

$$\begin{aligned} w &= \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6} \\ &= 1,2 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{19}{0,0017} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,0017} \right] \times 10^{-6} \\ &= -0.9880 < 0,01 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

➤ **BALOK TEGAK**

Tabel 5.19. Gaya maksimum yang terjadi pada balok tegak (SAP2000) :

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
643	0	COMB4	Combination	6.6733958	19.006225	-2.18E+01	1.88E+00	-1.30E+01	12.733637
643	1	COMB4	Combination	7.6825718	19.006225	-2.18E+01	1.88E+00	8.77E+00	-6.272588
643	1	COMB4	Combination	-7.6556448	1.572022	5.26E-01	-1.86E+00	3.71E+00	-5.3161456
643	1.5	COMB4	Combination	-7.1510568	1.572022	5.26E-01	-1.86E+00	3.45E+00	-6.1021566
643	3	COMB4	Combination	-5.6372928	1.572022	5.26E-01	-1.86E+00	2.66E+00	-8.4601896
643	0	COMB5	Combination	-9.3232104	20.745778	9.09E+00	-7.22E-01	3.32E+00	32.359096
643	1	COMB5	Combination	-8.3140344	20.745778	9.09E+00	-7.22E-01	-5.77E+00	11.613318
643	1	COMB5	Combination	3.1562156	20.140085	-4.21E-01	-4.03E-01	-6.02E-01	10.083259
643	1.5	COMB5	Combination	3.6608036	20.140085	-4.21E-01	-4.03E-01	-3.92E-01	0.0132169
643	3	COMB5	Combination	5.1745676	20.140085	-4.21E-01	-4.03E-01	2.39E-01	-30.196911
643	0	COMB6	Combination	7.2136092	18.731915	-2.27E+01	1.90E+00	-1.35E+01	12.312455
643	1	COMB6	Combination	8.2227852	18.731915	-2.27E+01	1.90E+00	9.15E+00	-6.4194608
643	1	COMB6	Combination	-7.9200057	1.3045602	5.38E-01	-1.85E+00	3.83E+00	-5.443701
643	1.5	COMB6	Combination	-7.4154177	1.3045602	5.38E-01	-1.85E+00	3.57E+00	-6.0959811
643	3	COMB6	Combination	-5.9016537	1.3045602	0.5384508	-1.85E+00	2.7579622	-8.0528214
643	0	COMB7	Combination	-6.7802458	14.554516	6.0771256	-3.67E-01	1.61E+00	22.862864
643	1	COMB7	Combination	-5.7710698	14.554516	6.0771256	-3.67E-01	-4.47E+00	8.3083486
643	1	COMB7	Combination	1.4930523	14.105521	-0.7584972	-1.21E-01	-6.88E-01	7.1909085
643	1.5	COMB7	Combination	1.9976403	14.105521	-0.7584972	-1.21E-01	0.3092283	0.1381479
643	3	COMB7	Combination	3.5114043	14.105521	-0.7584972	-1.21E-01	0.8285174	-21.020134

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 32359.096 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{71,6}{\left(\frac{18.94 \times 3235909.6}{50 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 3.656$$

Untuk $\delta = 0,4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 1,778 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 11,89$$

$$\xi = 0,35$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,35 \times 71,6 \\ &= 25,04 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{11,89}{18.94 \times 100} \times 50 \times 71,6 \\ &= 22,4585 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 22,4585 \text{ cm}^2 = 2245,85 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **8 D 19 (A = 2267 cm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0,4 \times 22,4585 \\ &= 8,98342 \text{ cm}^2 = 898,342 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **4D 19** ($A = 1134 \text{ mm}^2$)

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 10083.259 \text{ kg.m}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{71,7}{\left(\frac{18.94 \times 1008325.9}{50 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 5.5492$$

Untuk $\delta = 0,4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 3.411 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 3.562$$

$$\xi = 0.227$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0.227 \times 71,6 \\ &= 16.242 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{3.562}{18.94 \times 100} \times 50 \times 71,7 \\ &= 6.7281 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 6.7281 \text{ cm}^2 = 672.81 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **3D19** ($A = 850.20 \text{ cm}^2$)

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0,4 \times 6.7281 \\ &= 2.6912 \text{ cm}^2 = 269.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **2D19** ($A = 566.8 \text{ cm}^2$)

- **Kontrol Dimensi Balok**

$$D = 20745.8 \text{ kg}$$

$$Mt = 721.92 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times ht} \\ &= \frac{20745.8}{50 \times \frac{7}{8} \times 71,6} \\ &= 6.6274 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

untuk $ht > b$

$$\begin{aligned} \psi &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{ht}{b} \right)} \\ &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{71,6}{50} \right)} \end{aligned}$$

$$\psi = 4,38$$

$$\begin{aligned} \tau'_b &= \frac{\psi \times Mt}{b^2 \times ht} \\ &= \frac{4,38 \times 72192}{2500 \times 71,6} \\ &= 1.7686 \end{aligned}$$

$$\tau_b + \tau'_b = 6.6274 + 1.7686 = 8.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &= 1,35 \times \sqrt{300} \\ &= 23.383 > 8.40 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

Ukuran balok memenuhi syarat (50 cm x 80 cm)

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan **PBI '71**

Tabel 10.4.2:

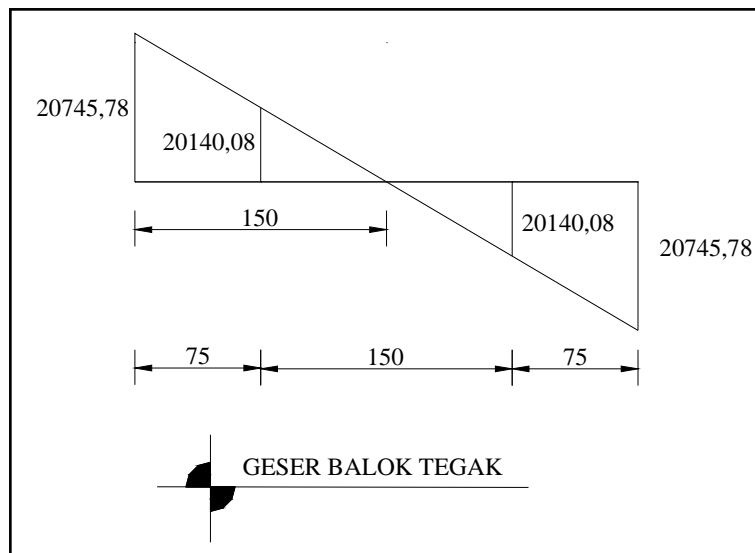
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0,43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0,68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.18. Gaya Geser Balok Tegak.

Luasan I

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{20745.78}{50 \times 7/8 \times 71,6} = 6.62 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = 6.62 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-t} = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-s} = 11.78 \text{ kg/cm}^2,$$

sehingga sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 :

$$s \leq 30 \text{ cm}$$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 80$$

$$= 53,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

Luasan II

$$\tau b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{20140.08}{50 \times 7/8 \times 71.6} = 6.43 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau b = 6.43 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-t = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau b-s = 11.78 \text{ kg/cm}^2,$$

sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 : $s \leq 30 \text{ cm}$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 80$$

$$= 53,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

• **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan **PBI 1971 pasal 11.8.6** perlu adanya tulangan memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{72192 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80}$$
$$= 1,0428 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,6 \text{ cm}$

$$A_s = 2,0114 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

$$\mathbf{2D 12 (A_s = 4,023 \text{ cm}^2) \geq A_{\text{mem}} \text{ (OK!)}$$

• **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm (PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{15.6454}{50 \times 71,7} = 0,0044$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} w &= \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6} \\ &= 1,2 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{19}{0,0044} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,0044} \right] \times 10^{-6} \\ &= -0,099 < 0,01 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya, penulangan lentur box culvert dapat dilihat pada **Tabel 5.20.**

Tabel 5.20. Penulangan Lentur Balok Box Culvert.

Type Balok	Daerah	h	M.Rencana	D	T	Ca	$\Phi' = (1,029)$		$100\eta\omega$	ξ		Aperlu	Apakai	Tulangan Pakai		
		(cm)	(kg.m)	(kg)	(kg.m)		Φ	$\Phi > \Phi'$				(cm ²)	(cm ²)	As	Long.	Sengkang
Memanjang	Tump.	71,55	8917,41	4405,79	11642,77	5,840	3,611	OK!	3,225	0,212	tarik	6,092	8,5016	3-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	2,437	5,6677	2-D19		
	Lap.	71,55	7553,67	3901,202	11642,77	6,345	3,925	OK!	2,751	0,202	tarik	5,196	5,6677	2-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	2,079	5,6677	2-D19		
Melintang	Tump.	71,55	50564,300	29355,21	39,019	2,925	1,703	OK!	13,11	0,370	tarik	24,763	25,5047	9-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	9,905	11,3354	4-D19		
	Lap.	71,55	7666,810	27841,45	39,019	6,298	3,878	OK!	2,79	0,205	tarik	5,270	5,6677	2-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	2,108	5,6677	2-D19		
Tegak	Tump.	71,55	32359,1	20745,778	721,9236	3,065	2,175	OK!	8,283	0,315	tarik	15,645	17,0031	6-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	6,258	8,5016	3-D19		
	Lap.	71,55	10083,3	20141,085	402,2525	5,492	3,411	OK!	3,562	0,227	tarik	6,728	8,5016	3-D19	2-D12	Φ12-300
											tekan	2,691	5,6677	2-D19		

Sumber : Perhitungan

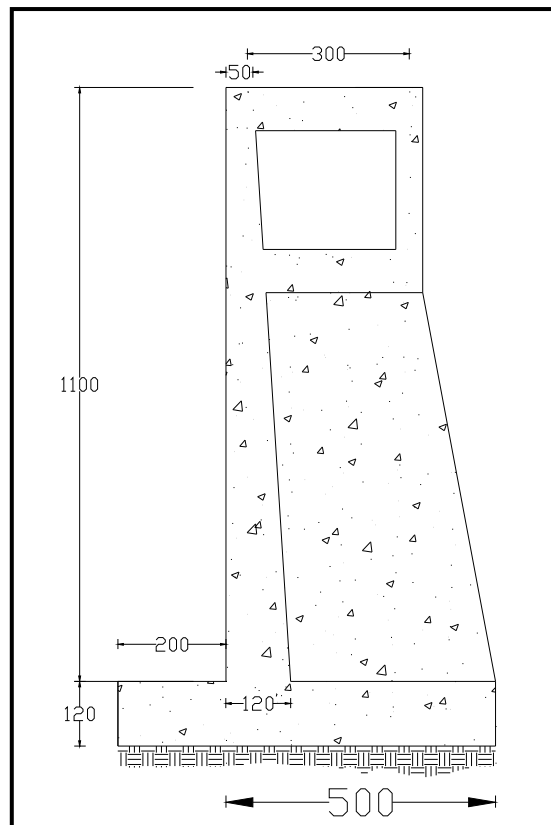
5.7.2. PERENCANAAN DINDING

Perhitungan dinding dock didasarkan atas beban- beban yang menekan pada dinding.(Gambar5.19). Agar dinding dock tidak mengalami lendutan yang besar akibat beban tanah lateral, maka dinding harus diberi pengaku (stiffness) yang disebut dinding counterfort.

Direncanakan :

- $h = 11 \text{ m}$
- $t = 0,8 \text{ m}$

Lihat Gambar 5.18.



Gambar 5.19. Dimensi Dinding.

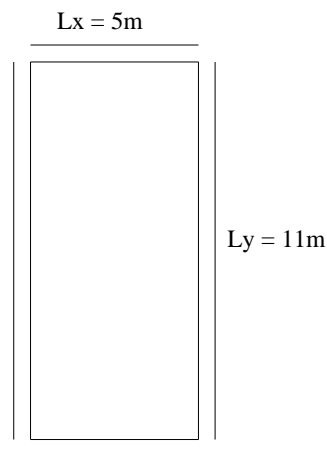
5.7.2.1. Perhitungan Penulangan Lentur Dinding

Perhitungan penulangan dinding dock direncanakan per segmen yakni sesuai dengan jarak counterfort yaitu 5 m. Dalam bowles tekanan tanah samping dianggap sebagai beban hidup, sehingga memiliki faktor beban $\phi = 1.6$.

Tebal dinding direncanakan : 80 cm

$$H = ht\text{-selimut beton} = 80 - 7.5 - 0,5(1.6) = 71.7 \text{ cm}$$

$$A_{min} = \frac{12}{\sigma_{au}} b.h = \frac{12}{3390} \times 100 \times 71.7 = 25.38 \text{ cm}$$



$$Lx/Ly = 11 \text{ m} / 5 \text{ m} = 2,2, \text{ tulangan satu arah.}$$

Dari analisa SAP diperoleh momen, gaya lintang, dan torsi maksimum yang bekerja pada dinding graving dock., yaitu :

Tabel 5.21. Gaya Maksimum yang Bekerja pada Struktur Dinding

Area	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
1099	1277	COMB4	Combination	59.75841	-21.5236	-94.401	-270.88	-63.56
1099	1270	COMB4	Combination	197.7279	101.456	-59.289	-270.88	146.08
1099	1043	COMB4	Combination	283.7973	10.86143	-61.819	-546.16	146.08
1099	1278	COMB4	Combination	8.185868	-7.29864	-96.931	-546.16	-63.56
1099	1277	COMB5	Combination	-4.8789	-8.10508	5.0048	-9.8642	-28.73
1099	1270	COMB5	Combination	-0.68318	30.26014	3.55982	-9.8642	112.69
1099	1043	COMB5	Combination	-9.08057	-25.3605	4.2962	12.1506	112.69
1099	1278	COMB5	Combination	-2.26887	6.981758	5.74119	12.1506	-28.73
1099	1277	COMB6	Combination	60.79492	-19.8152	-95.35	-268.84	-57.13
1099	1270	COMB6	Combination	197.7884	95.14986	-59.895	-268.84	120.84

1099	1043	COMB6	Combination	285.781	17.00335	-62.47	-549.18	120.84
1099	1278	COMB6	Combination	8.617807	-8.97687	-97.925	-549.18	-57.13
1099	1277	COMB7	Combination	0.579054	14.62684	-37.183	383.635	8.0372
1099	1270	COMB7	Combination	-194.659	-48.1868	-26.421	383.635	-49.91
1099	1043	COMB7	Combination	-154.314	-28.6138	-23.001	250.119	-49.91
1099	1278	COMB7	Combination	-25.8343	5.227393	-33.763	250.119	8.0372
1364	1655	COMB4	Combination	7.095355	-10.3103	-15.223	-256.47	-150.7
1364	1651	COMB4	Combination	177.5618	38.23878	-1.8908	-256.47	543.8
1364	1638	COMB4	Combination	198.7147	-240.325	-44.122	-351.06	543.8
1364	1659	COMB4	Combination	-19.0488	58.35238	-57.455	-351.06	-150.7
1364	1655	COMB5	Combination	0.952203	-8.67575	-4.6982	-15.214	-12.03
1364	1651	COMB5	Combination	2.526105	34.75146	-4.6076	-15.214	45.2
1364	1638	COMB5	Combination	0.5747	12.10592	1.42547	-10.526	45.2
1364	1659	COMB5	Combination	1.344757	-2.70607	1.33486	-10.526	-12.03
1364	1655	COMB6	Combination	6.850649	-8.94033	-14.158	-254.11	-149.1
1364	1651	COMB6	Combination	177.1838	32.70667	-0.8906	-254.11	538
1364	1638	COMB6	Combination	198.4748	-242.926	-44.17	-348.98	538
1364	1659	COMB6	Combination	-19.2923	58.95979	-57.437	-348.98	-149.1
1364	1655	COMB7	Combination	17.37322	-21.039	-64.307	325.811	-30.57
1364	1651	COMB7	Combination	-177.535	96.63187	-48.213	325.811	76.84
1364	1638	COMB7	Combination	-131.916	50.16465	-16.211	174.115	76.84
1364	1659	COMB7	Combination	-12.8559	-13.8021	-32.305	174.115	-30.57

5.7.2.2. Kedalaman 0 M

➤ **Arah x** ($Mtx = -Mlx$)

$$\text{Momen} = 975,8197 \quad \text{kg.m}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$n = 18.94$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{41,7}{\left(\frac{18.94 \times 97582}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 14,550$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = 1,347 \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = 0$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$= 0$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 0 \quad \text{cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 0 \quad \text{cm}^2 = 0 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 500 (A = 981,25 mm²)

➤ **Arah y** (Mty = -Mly)

$$\text{Momen} = 4820,8413 \quad \text{kg.m}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$n = 18.94$$

$$\Phi n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{41,7}{\left(\frac{18.94 \times 24292594.6}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 6,546$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = 7,264 \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = 0,833$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$= 0,000440$$

$$\begin{aligned}
A &= \omega \times b \times h \\
&= 1,8340 \text{ cm}^2 \\
A_{\text{perlu}} &= 1,8340 \text{ cm}^2 = 183,401 \text{ mm}^2 \\
\text{dipakai tulangan : } &\text{D25 - 500 (A = 490,625 mm}^2\text{)}
\end{aligned}$$

5.7.2.3. Kedalaman 3.8 M

➤ **Arah x** ($M_{tx} = -M_{lx}$)

$$\begin{aligned}
\text{Momen} &= 4643,4780 \text{ kg.m} \\
\sigma_{au} &= \mathbf{3390} \text{ kg/cm}^2 \\
\sigma_a &= \mathbf{2250} \text{ kg/cm}^2 \\
n &= \mathbf{18.94} \\
\Phi_n &= \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_a &= \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}} \\
C_a &= \frac{85,52}{\left(\frac{18.94 \times 28578097}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}
\end{aligned}$$

$$C_a = 13,679$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = \mathbf{1,347} \geq \Phi_v \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = \mathbf{0}$$

$$\begin{aligned}
\omega &= \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} \\
&= 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A &= \omega \times b \times h \\
&= 0 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$A_{\text{perlu}} = 0 \text{ cm}^2 = 0 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 500 (A = 981,25 mm²)

➤ **Arah y** ($M_{ty} = -M_{ly}$)

$$\text{Momen} = 11753,8679 \quad \text{kg.m}$$

$$\sigma_{au} = \mathbf{3390} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \mathbf{2250} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$n = \mathbf{18.94}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$C_a = \frac{85,52}{\left(\frac{18.94 \times 24292594.6}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$C_a = 8,598$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = \mathbf{5,419} \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = \mathbf{1,445}$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$= 0,000763$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 6,5246 \quad \text{cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 6,5246 \quad \text{cm}^2 = 652,463 \quad \text{mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 500 (A = 981,25mm²)

5.7.2.4. Kedalaman 7 M

➤ **Arah x** ($M_{tx} = -M_{lx}$)

$$\text{Momen} = 42767,9060 \quad \text{kg.m}$$

$$\sigma_{au} = \mathbf{3390} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \mathbf{2250} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$n = \mathbf{18.94}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{97,15}{\left(\frac{18.94 \times 28578097}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 5,120$$

Untuk $\delta = 0$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 3,000 \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = 4,167$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100}$$

$$= 0,002200$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 21,3740 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 21,3740 \text{ cm}^2 = 2137,4\text{mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 200 (A = 2453,13 mm²)

➤ **Arah y (Mty = -Mly)**

$$\text{Momen} = 26154,5738 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 18.94$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{97,15}{\left(\frac{18,94 \times 24292594,6}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 6,547$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = 4,000 \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = 2,500$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18,94 \times 100}$$

$$= 0,001320$$

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= 12,8234 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 12,8234 \text{ cm}^2 = 1282,34\text{mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 200 (A = 2453,13mm²)

5.7.2.5. Kedalaman 9 M

➤ **Arah x** ($M_{tx} = -M_{lx}$)

$$\text{Momen} = 66090,5401 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 18,94$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18,94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$Ca = \frac{104,43}{\left(\frac{18,94 \times 28578097}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 4,427$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\begin{aligned} \Phi &= \mathbf{2,521} \geq \Phi_v \quad (\text{OK!}) \\ 100\eta\omega &= \mathbf{5,632} \\ \omega &= \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} \\ &= 0,002974 \\ A &= \omega \times b \times h \\ &= 31,0533 \text{ cm}^2 \\ \text{Aperlu} &= 31,0533 \text{ cm}^2 = 3105,33 \text{ mm}^2 \\ \text{dipakai tulangan : } &\mathbf{D25 - 250 (A = 3270,833\text{mm}^2)} \end{aligned}$$

➤ **Arah y** ($M_{ty} = -M_{ly}$)

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= 176042,6269 \text{ kg.m} \\ \sigma_{au} &= \mathbf{3390} \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_a &= \mathbf{2250} \text{ kg/cm}^2 \\ n &= \mathbf{18.94} \\ \Phi_n &= \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0 \end{aligned}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{104,43}{\left(\frac{18.94 \times 24292594.6}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 3,235$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\begin{aligned} \Phi &= \mathbf{1,703} \geq \Phi_v \quad (\text{OK!}) \\ 100\eta\omega &= \mathbf{10,86} \\ \omega &= \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} \\ &= 0,005734 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A &= \omega \times b \times h \\
&= 41,1120 \text{ cm}^2 \\
A_{\text{perlu}} &= 41,1120 \text{ cm}^2 = 4111,2 \text{ mm}^2 \\
\text{dipakai tulangan : } &\mathbf{D25 - 100 (A = 4906,25 \text{ mm}^2)}
\end{aligned}$$

5.7.2.6. Kedalaman 11 M

➤ **Arah x** ($M_{tx} = -M_{lx}$)

$$\begin{aligned}
\text{Momen} &= 285780.97 \text{ kg.m} \\
\sigma_{au} &= \mathbf{3390} \text{ kg/cm}^2 \\
\sigma_a &= \mathbf{2250} \text{ kg/cm}^2 \\
n &= \mathbf{18.94} \\
\Phi_n &= \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0
\end{aligned}$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$Ca = \frac{111,7}{\left(\frac{18.94 \times 285780,97}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 2.716$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = \mathbf{1.347} \geq \Phi_v \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = \mathbf{15.81}$$

$$\begin{aligned}
\omega &= \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} \\
&= 0.008347
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A &= \omega \times b \times h \\
&= 59.8510 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$A_{\text{perlu}} = 59.8510 \text{ cm}^2 = 5985.10 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 75 (A = 6541.667 mm²)

➤ **Arah y** ($M_{ty} = -M_{ly}$)

$$\text{Momen} = 242925.9463 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{au} = \mathbf{3390} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \mathbf{2250} \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \mathbf{18.94}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$C_a = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_l x}{b \times \sigma_a}}}$$

$$C_a = \frac{111,7}{\left(\frac{18.94 \times 24292594.6}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$C_a = 2.946$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = \mathbf{1.535} \geq \Phi_v \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = \mathbf{12.85}$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} = 0.006785$$

$$A = \omega \times b \times h = 48.6455 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 48.6455 \text{ cm}^2 = 4864.553 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D25 - 100 (A = 4906.25 mm²)

➤ **Kontrol Retak**

$$C_3 = 1,5$$

$$C_4 = 0,04$$

$$C_5 = 7,5$$

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{59.8510}{100 \times 111,7} \\
&= 0,00536
\end{aligned}$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
w &= a \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6} \\
&= 1,2 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{3,2}{0,00536} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,00536} \right] \times 10^{-6} \\
&= -0,01334 < 0,01 \text{ cm} \quad (\text{OK!})
\end{aligned}$$

➤ Kontrol Lendutan

$$\frac{1}{35} Lx = \frac{1}{35} 500 = 14,286 \text{ cm}$$

$h = 72,5 \text{ cm} > 14,286 \text{ cm} \rightarrow$ lendutan tidak perlu diperiksa.

Tabel 5.22. Penulangan Lentur Dinding.

Kedalaman	Daerah	Arah	h	M.Rencana	Ca	$\Phi' = (1,1)$		$100\eta\omega$	Tulangan yang diperlukan		
						Φ	$\Phi > \Phi'$		Aperlu	Tulangan	Apakai
(m)			(cm)	(kg.m)				(cm ²)	pakai	(cm ²)	
0	Mtx = - Mlx	X	71,7	975,820	25,017	1,347	OK!	15,81	0,0000	D25-500	9,8125
	Mty = - Mly	Y	71,7	4820,841	11,255	7,624	OK!	0,833	3,1534	D25-500	9,8125
3,8	Mtx = - Mlx	X	85,52	4643,478	13,679	1,347	OK!	15,81	0,0000	D25-500	9,8125
	Mty = - Mly	Y	85,52	11753,868	8,598	5,419	OK!	1,445	6,5246	D25-500	9,8125
7	Mtx = - Mlx	X	97,15	42767,906	5,120	3,000	OK!	4,167	21,3740	D25-200	24,531
	Mty = - Mly	Y	97,15	26154,574	6,547	4,000	OK!	2,500	12,8234	D25-200	24,531
9	Mtx = - Mlx	X	104,4	66090,540	4,427	2,521	OK!	5,632	21,3207	D25-150	32,708
	Mty = - Mly	Y	104,4	176042,627	3,235	1,703	OK!	10,86	41,1120	D25-100	49,063
11	Mtx = - Mlx	X	111,7	285780,971	2,716	1,347	OK!	15,81	59,8510	D25-75	65,417
	Mty = - Mly	Y	111,7	242925,946	2,946	1,535	OK!	12,85	48,6455	D25-100	49,063

5.7.3. PENULANGAN DINDING COUNTERFORT

Perencanaan counterfort diasumsikan sebagai balok T palsu kantilever. Lebar manfaat Flens balok T diambil dari nilai terkecil Bm (PBI 1971 pasal 10.8.3) di bawah ini :

$$bm \leq bo + \frac{lo}{5}$$

$$bm \leq 80 + \frac{300}{5}$$

$$bm \leq 140$$

$$bm \leq bo + \frac{lo}{10} + \frac{bk}{2}$$

$$bm \leq 80 + \frac{300}{10} + \frac{200}{2}$$

$$bm \leq 210$$

$$bm < bk$$

$$bm < 200$$

$$bm = 140 \text{ cm}$$

5.7.3.1. Penulangan Lentur Counterfort (Menggunakan Lentur Cara “N”).

Untuk mendapatkan momen dan gaya lintang dipergunakan program bantu SAP2000. Karena bentuk counterfort tidak sama, mulai dari bawah ke atas maka perencanaan harus dihitung tiap kedalaman counterfort. Balok counterfort dibagi menjadi 4(empat) bagian yaitu pada jarak kedalaman 3.8m, 7m, 9m, dan 11m dari struktur dinding graving dock paling atas.

5.7.3.2. Kedalaman 3.8 m

$$ht = 365 - 7,5 - (0,5 \times 2,5) = 356,25 \text{ cm.}$$

Tabel 5.23. Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 3,8 m (SAP 2000).

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
1024	0.456	COMB4	Combination	-45.327709	78.257798	-1.6756535	3.4883468	-7.3251178	225.53021
1024	0.913	COMB4	Combination	-45.327709	80.099544	-1.6756535	3.4883468	-6.5606009	189.40494
1024	1.369	COMB4	Combination	-45.327709	81.94129	-1.6756535	3.4883468	-5.796084	152.43937
1024	1.825	COMB4	Combination	-45.327709	83.783036	-1.6756535	3.4883468	-5.0315671	114.63351
1024	2.281	COMB4	Combination	-45.327709	85.624783	-1.6756535	3.4883468	-4.2670502	75.987351
1024	2.738	COMB4	Combination	-45.327709	87.466529	-1.6756535	3.4883468	-3.5025333	36.500896
1024	3.194	COMB4	Combination	-45.327709	89.308275	-1.6756535	3.4883468	-2.7380164	-3.8258564
1024	3.65	COMB4	Combination	-45.327709	91.150021	-1.6756535	3.4883468	-1.9734995	-44.992905
1024	0	COMB5	Combination	7.2417352	-17.416655	0.1881706	-0.5059584	1.0016812	-25.165959
1024	0.456	COMB5	Combination	7.2417352	-15.574908	0.1881706	-0.5059584	0.9158283	-17.639759
1024	0.913	COMB5	Combination	7.2417352	-13.733162	0.1881706	-0.5059584	0.8299755	-10.953855
1024	1.369	COMB5	Combination	7.2417352	-11.891416	0.1881706	-0.5059584	0.7441227	-5.1082483
1024	1.825	COMB5	Combination	7.2417352	-10.04967	0.1881706	-0.5059584	0.6582698	-0.1029382
1024	2.281	COMB5	Combination	7.2417352	-8.2079236	0.1881706	-0.5059584	0.572417	4.0620753
1024	2.738	COMB5	Combination	7.2417352	-6.3661774	0.1881706	-0.5059584	0.4865641	7.3867921
1024	3.194	COMB5	Combination	7.2417352	-4.5244312	0.1881706	-0.5059584	0.4007113	9.8712122
1024	3.65	COMB5	Combination	7.2417352	-2.682685	0.1881706	-0.5059584	0.3148584	11.515336
1024	0	COMB6	Combination	-47.752684	80.33931	-1.7234652	3.6127669	-8.3455166	272.37228
1024	0.456	COMB6	Combination	-47.752684	82.181056	-1.7234652	3.6127669	-7.5591856	235.29732
1024	0.913	COMB6	Combination	-47.752684	84.022803	-1.7234652	3.6127669	-6.7728546	197.38207
1024	1.369	COMB6	Combination	-47.752684	85.864549	-1.7234652	3.6127669	-5.9865236	158.62652
1024	1.825	COMB6	Combination	-47.752684	87.706295	-1.7234652	3.6127669	-5.2001926	119.03067
1024	2.281	COMB6	Combination	-47.752684	89.548041	-1.7234652	3.6127669	-4.4138616	78.594523
1024	2.738	COMB6	Combination	-47.752684	91.389787	-1.7234652	3.6127669	-3.6275305	37.318081
1024	3.194	COMB6	Combination	-47.752684	93.231534	-1.7234652	3.6127669	-2.8411995	-4.7986582
1024	3.65	COMB6	Combination	-47.752684	95.07328	-1.7234652	3.6127669	-2.0548685	-47.755694
1024	0	COMB7	Combination	3.8361667	-16.007164	0.5076688	-1.0374541	2.3853237	-25.688099
1024	0.456	COMB7	Combination	3.8361667	-14.165418	0.5076688	-1.0374541	2.1536998	-18.804979
1024	0.913	COMB7	Combination	3.8361667	-12.323672	0.5076688	-1.0374541	1.9220759	-12.762155
1024	1.369	COMB7	Combination	3.8361667	-10.481925	0.5076688	-1.0374541	1.690452	-7.5596282
1024	1.825	COMB7	Combination	3.8361667	-8.6401792	0.5076688	-1.0374541	1.4588281	-3.197398
1024	2.281	COMB7	Combination	3.8361667	-6.798433	0.5076688	-1.0374541	1.2272042	0.3245354
1024	2.738	COMB7	Combination	3.8361667	-4.9566868	0.5076688	-1.0374541	0.9955803	3.0061721
1024	3.194	COMB7	Combination	3.8361667	-3.1149406	0.5076688	-1.0374541	0.7639564	4.8475121
1024	3.65	COMB7	Combination	3.8361667	-1.2731944	0.5076688	-1.0374541	0.5323325	5.8485554

- **Penulangan Tumpuan** ($M_{tx} = M_{ty}$)

$$M_{tumpuan} = 272372.28 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18,94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times M_{lx}}{b \times \sigma_a}}}$$

$$Ca = \frac{356.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 27237228}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 3,572$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 2,11 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 8,77$$

$$\xi = 0,894$$

$$\text{garis normal} = \xi \times h_t = 43.03 < 120 \text{ cm}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{8,77}{18.94 \times 100} \times 80 \times 356.25 \\ &= 70,8453 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 70,8453 \text{ cm}^2 = 7084,53 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **15 D25 (A = 7359.38 mm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0.4 \times 70,8453 \\ &= 28.1413 \text{ cm}^2 = 2814.13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **6 D25 (A = 2943.75mm²)**

- **Penulangan Lapangan (Mlx = Mly)**

$$M_{lapangan} = 119030.6684 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{356.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 11903066.84}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 5,4040$$

$$\text{Untuk } \delta = 0.4 \quad \text{dari Tabel Lentur cara n didapat :}$$

$$\Phi = \mathbf{3,348} \geq \Phi_n \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = \mathbf{3,684}$$

$$\xi = \mathbf{0,922}$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,922 \times 191,25 \\ &= 176,333 \leq t \text{ plat} \quad (\text{OK!}) \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{3.684}{18.94 \times 100} \times 80 \times 356.25 \\ &= 29,7599 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 29,7599 \text{ cm}^2 = 2975,99 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **6D25 (A = 2943.75 mm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0.4 \times 29,7599 \\ &= 11,9039 \text{ cm}^2 = 1190,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **3D25 (A = 1471.88 mm²)**

- **Kontrol Dimensi Balok**

$$D = 95073.27 \text{ kg}$$

$$Mt = 3612.77 \text{ kg.m}$$

$$\begin{aligned} \tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times ht} \\ &= \frac{95073.27}{80 \times \frac{7}{8} \times 356.25} \\ &= 2.7164 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

untuk $ht > b$

$$\begin{aligned} \psi &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{ht}{b} \right)} \\ &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{356.25}{80} \right)} \end{aligned}$$

$$\psi = 4.79$$

$$\begin{aligned} \tau'_b &= \frac{\psi \times Mt}{b^2 \times ht} \\ &= \frac{4,79 \times 361277}{40000 \times 200,0} \\ &= 0,2165 \end{aligned}$$

$$\tau_b + \tau'_b = 2.7164 + 0.2165 = 2.93 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau_{bm} &= 1,35 \times \sqrt{300} \\ &= 23.383 > 2.93 \quad (\text{OK!}) \end{aligned}$$

Ukuran balok memenuhi syarat

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan *PBI '71 tabel 10.4.2*:

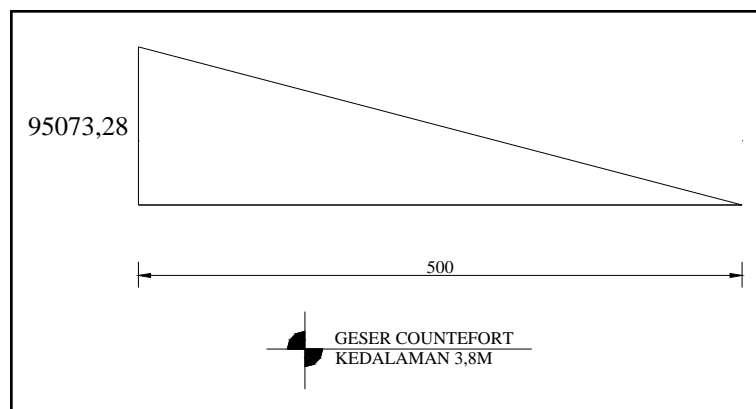
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0,43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau'_{b-s} = 0,68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.20. Gaya Geser Counterfort Kedalaman 3,8m

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{95073.28}{200 \times 7/8 \times 356.25} = 2.84 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = 2.84 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-t} = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-s} = 11.78 \text{ kg/cm}^2,$$

sehingga sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 : $s \leq 30 \text{ cm}$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 365$$

$$= 243,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

- **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan *PBI 1971 pasal 11.8.6* perlu adanya tulangan memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{361276,69 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80} = 5,2184411 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$
 $A_s = 1,131 \text{ cm}^2$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

5 D12 ($A_s = 5,657 \text{ cm}^2$) $\geq A_{\text{memanjang}}$ (OK!)

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm (PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{70.3534}{200 \times 356.25} = 0.0018$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$w = \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6}$$

$$= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{2,5}{0,0018} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,0018} \right] \times 10^{-6}$$

$$= -0.1199 < 0,01 \text{ (OK!)}$$

5.7.3.3. Kedalaman 7 m

$$ht = 425 - 7,5 - (0,5 \times 2,5) = 416,25 \text{ cm.}$$

Tabel 5.24. Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 7 m (SAP 2000).

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
865	0	COMB4	Combination	51.202433	-67.40418	-0.5502944	-0.0980265	-2.1768662	-157.70696
865	0.472	COMB4	Combination	51.202433	-65.497959	-0.5502944	-0.0980265	-1.9170049	-126.32729
865	0.944	COMB4	Combination	51.202433	-63.591737	-0.5502944	-0.0980265	-1.6571437	-95.847777
865	1.417	COMB4	Combination	51.202433	-61.685516	-0.5502944	-0.0980265	-1.3972824	-66.268426
865	1.889	COMB4	Combination	51.202433	-59.779295	-0.5502944	-0.0980265	-1.1374212	-37.589234
865	2.361	COMB4	Combination	51.202433	-57.873073	-0.5502944	-0.0980265	-0.87756	-9.8102031
865	2.833	COMB4	Combination	51.202433	-55.966852	-0.5502944	-0.0980265	-0.6176987	17.068668
865	3.306	COMB4	Combination	51.202433	-54.060631	-0.5502944	-0.0980265	-0.3578375	43.047379
865	3.778	COMB4	Combination	51.202433	-52.154409	-0.5502944	-0.0980265	-0.0979762	68.12593
865	4.25	COMB4	Combination	51.202433	-50.248188	-0.5502944	-0.0980265	0.161885	92.304321
865	0	COMB5	Combination	1.6046546	-6.7623153	-0.0750891	0.2929565	-0.3332014	0.2737585
865	0.472	COMB5	Combination	1.6046546	-4.856094	-0.0750891	0.2929565	-0.2977427	3.016994
865	0.944	COMB5	Combination	1.6046546	-2.9498726	-0.0750891	0.2929565	-0.2622839	4.8600695
865	1.417	COMB5	Combination	1.6046546	-1.0436513	-0.0750891	0.2929565	-0.2268252	5.8029848
865	1.889	COMB5	Combination	1.6046546	0.86257	-0.0750891	0.2929565	-0.1913664	5.8457401
865	2.361	COMB5	Combination	1.6046546	2.7687914	-0.0750891	0.2929565	-0.1559077	4.9883354
865	2.833	COMB5	Combination	1.6046546	4.6750127	-0.0750891	0.2929565	-0.1204489	3.2307705
865	3.306	COMB5	Combination	1.6046546	6.581234	-0.0750891	0.2929565	-0.0849902	0.5730456
865	3.778	COMB5	Combination	1.6046546	8.4874554	-0.0750891	0.2929565	-0.0495314	-2.9848394
865	4.25	COMB5	Combination	1.6046546	10.393677	-0.0750891	0.2929565	-0.0140727	-7.4428845
865	0	COMB6	Combination	51.400797	-67.5846	-0.5478123	-0.1160385	-2.163003	-158.16812
865	0.472	COMB6	Combination	51.400797	-65.678379	-0.5478123	-0.1160385	-1.9043139	-126.70325
865	0.944	COMB6	Combination	51.400797	-63.772157	-0.5478123	-0.1160385	-1.6456248	-96.138545
865	1.417	COMB6	Combination	51.400797	-61.865936	-0.5478123	-0.1160385	-1.3869356	-66.473995
865	1.889	COMB6	Combination	51.400797	-59.959715	-0.5478123	-0.1160385	-1.1282465	-37.709605
865	2.361	COMB6	Combination	51.400797	-58.053493	-0.5478123	-0.1160385	-0.8695574	-9.8453756
865	2.833	COMB6	Combination	51.400797	-56.147272	-0.5478123	-0.1160385	-0.6108683	17.118694
865	3.306	COMB6	Combination	51.400797	-54.241051	-0.5478123	-0.1160385	-0.3521792	43.182604
865	3.778	COMB6	Combination	51.400797	-52.334829	-0.5478123	-0.1160385	-0.09349	68.346353
865	4.25	COMB6	Combination	51.400797	-50.428608	-0.5478123	-0.1160385	0.1651991	92.609942
865	0	COMB7	Combination	-30.041942	12.103321	0.4734162	-0.1922924	1.8919604	44.722169
865	0.472	COMB7	Combination	-30.041942	14.009542	0.4734162	-0.1922924	1.6684027	38.556632
865	0.944	COMB7	Combination	-30.041942	15.915764	0.4734162	-0.1922924	1.444845	31.490934
865	1.417	COMB7	Combination	-30.041942	17.821985	0.4734162	-0.1922924	1.2212874	23.525077
865	1.889	COMB7	Combination	-30.041942	19.728206	0.4734162	-0.1922924	0.9977297	14.65906
865	2.361	COMB7	Combination	-30.041942	21.634428	0.4734162	-0.1922924	0.774172	4.8928822
865	2.833	COMB7	Combination	-30.041942	23.540649	0.4734162	-0.1922924	0.5506144	-5.7734554
865	3.306	COMB7	Combination	-30.041942	25.44687	0.4734162	-0.1922924	0.3270567	-17.339953
865	3.778	COMB7	Combination	-30.041942	27.353092	0.4734162	-0.1922924	0.1034991	-29.806611

865	4.25	COMB7	Combination	-30.041942	29.259313	0.4734162	-0.1922924	-0.1200586	-43.173428
-----	------	-------	-------------	------------	-----------	-----------	------------	------------	------------

• **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 158168.125 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{416.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 15816812.5}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 4,688$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 2,922 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 4,795$$

$$\xi = 0,914$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,922 \times 191,25 \\ &= 176,333 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{4,795}{18.94 \times 100} \times 200 \times 416.25 \\ &= 38,7347 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 38,7347 \text{ cm}^2 = 3873,47 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **8D25 (As = 3925 mm²)**

$$\begin{aligned} A' &= \delta \times A \\ &= 0.4 \times 38,7347 \\ &= 15,4939 \text{ cm}^2 = 1549,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **4D25 (As = 1962,5 mm²)**

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{lapangan} = 96138.54 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{416.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 9613854}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 6,0131$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 3,762 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 2,956$$

$$\xi = 0,928$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,928 \times 416,25 \\ &= 386,280 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{2,956}{18.94 \times 100} \times 200 \times 416.25 \\ &= 23,8790 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 23,8790 \text{ cm}^2 = 2387,90\text{mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **5 D25 (A = 2563.13 mm²)**

$$\begin{aligned}
 A' &= \delta \times A \\
 &= 0.4 \times 23,8790 \\
 &= 9,5516 \text{ cm}^2 = 955,159 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **2D25 (A = 981.25 mm²)**

• **Kontrol Dimensi Balok**

$$\begin{aligned}
 D &= 67584.60 \text{ kg} \\
 Mt &= 116.04 \text{ kg.m} \\
 \tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7}{8} \times ht} \\
 &= \frac{67584.60}{80 \times \frac{7}{8} \times 416.25} \\
 &= 1.9310 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

untuk $ht > b$

$$\begin{aligned}
 \psi &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{ht}{b} \right)} \\
 &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{416.25}{80} \right)}
 \end{aligned}$$

$$\psi = 3.46$$

$$\begin{aligned}
 \tau'_b &= \frac{\psi \times Mt}{b^2 \times ht} \\
 &= \frac{3.46 \times 11604}{40000 \times 416.25} \\
 &= 0,0151
 \end{aligned}$$

$$\tau_b + \tau'_b = 2,320 + 0,0151 = 2,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \tau_{bm} &= 1,35 \times \sqrt{300} \\
 &= 23.383 > 2,33 \quad (\text{OK!})
 \end{aligned}$$

Ukuran balok memenuhi syarat

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan *PBI '71 tabel 10.4.2*:

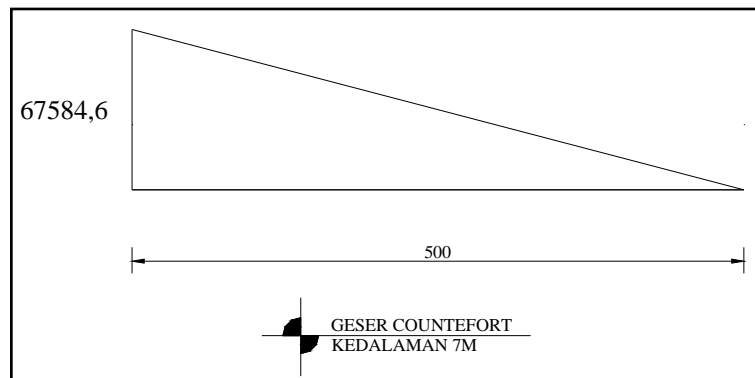
Untuk pembebanan tetap : $\tau_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0.43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0.68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^3$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.21. Gaya Geser Counterfort Kedalaman 7m

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{67584.6}{200 \times 7/8 \times 416.25} = 2.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_b = 2.02 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-t} = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-s} = 11.78 \text{ kg/cm}^2,$$

sehingga sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 : $s \leq 30 \text{ cm}$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 425 = 283,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

- **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan *PBI 1971 pasal 11.8.6* perlu adanya tulangan

memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{11603,85 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80} = 0,167611 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$

$$A_s = 1,131 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

$$2 \text{ D12} \quad (A_s = 2,263 \text{ cm}^2) \geq A_{\text{memanjang}} \text{ (OK!)}$$

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm

(PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{38,7347}{200 \times 416.25} = 0,0025$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} w &= \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6} \\ &= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{2,5}{0,0025} \right] \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,0025} \right] \times 10^{-6} \\ &= -0,0362 < 0,01 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

5.7.3.4. Kedalaman 9 m

$$ht = 465 - 7,5 - (0,5 \times 2,5) = 456,25 \text{ cm.}$$

Tabel 5.25. Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 9 m (SAP 2000).

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
874	0	COMB4	Combination	-8.5365139	-82.954113	-0.4267532	-2.4615499	-1.4388756	-231.98807
874	0.463	COMB4	Combination	-8.5365139	-81.087137	-0.4267532	-2.4615499	-1.2415023	-194.05353
874	0.925	COMB4	Combination	-8.5365139	-79.220161	-0.4267532	-2.4615499	-1.0441289	-156.98247
874	1.388	COMB4	Combination	-8.5365139	-77.353186	-0.4267532	-2.4615499	-0.8467555	-120.77488
874	1.85	COMB4	Combination	-8.5365139	-75.48621	-0.4267532	-2.4615499	-0.6493822	-85.430773
874	2.313	COMB4	Combination	-8.5365139	-73.619235	-0.4267532	-2.4615499	-0.4520088	-50.950139
874	2.775	COMB4	Combination	-8.5365139	-71.752259	-0.4267532	-2.4615499	-0.2546354	-17.332981
874	3.238	COMB4	Combination	-8.5365139	-69.885283	-0.4267532	-2.4615499	-0.0572621	15.4207
874	3.7	COMB4	Combination	-8.5365139	-68.018308	-0.4267532	-2.4615499	0.1401113	47.310906
874	4.163	COMB4	Combination	-8.5365139	-66.151332	-0.4267532	-2.4615499	0.3374846	78.337635
874	4.625	COMB4	Combination	-8.5365139	-64.284357	-0.4267532	-2.4615499	0.534858	108.50089
874	0	COMB5	Combination	-1.4697026	-9.7282459	-0.1276962	0.3655616	-0.5894693	-3.2963133
874	0.463	COMB5	Combination	-1.4697026	-7.8612703	-0.1276962	0.3655616	-0.5304098	0.7712623
874	0.925	COMB5	Combination	-1.4697026	-5.9942947	-0.1276962	0.3655616	-0.4713503	3.9753618
874	1.388	COMB5	Combination	-1.4697026	-4.1273191	-0.1276962	0.3655616	-0.4122908	6.315985
874	1.85	COMB5	Combination	-1.4697026	-2.2603435	-0.1276962	0.3655616	-0.3532313	7.7931319
874	2.313	COMB5	Combination	-1.4697026	-0.3933679	-0.1276962	0.3655616	-0.2941718	8.4068027
874	2.775	COMB5	Combination	-1.4697026	1.4736077	-0.1276962	0.3655616	-0.2351123	8.1569973
874	3.238	COMB5	Combination	-1.4697026	3.3405833	-0.1276962	0.3655616	-0.1760528	7.0437156
874	3.7	COMB5	Combination	-1.4697026	5.2075589	-0.1276962	0.3655616	-0.1169933	5.0669577
874	4.163	COMB5	Combination	-1.4697026	7.0745345	-0.1276962	0.3655616	-0.0579338	2.2267236
874	4.625	COMB5	Combination	-1.4697026	8.9415101	-0.1276962	0.3655616	0.0011257	-1.4769867
874	0	COMB6	Combination	-8.0581435	-83.331446	-0.415767	-2.4936934	-1.3888206	-233.02582
874	0.463	COMB6	Combination	-8.0581435	-81.464471	-0.415767	-2.4936934	-1.1965283	-194.91677
874	0.925	COMB6	Combination	-8.0581435	-79.597495	-0.415767	-2.4936934	-1.0042361	-157.67119
874	1.388	COMB6	Combination	-8.0581435	-77.730519	-0.415767	-2.4936934	-0.8119439	-121.28908
874	1.85	COMB6	Combination	-8.0581435	-75.863544	-0.415767	-2.4936934	-0.6196516	-85.770457
874	2.313	COMB6	Combination	-8.0581435	-73.996568	-0.415767	-2.4936934	-0.4273594	-51.115306
874	2.775	COMB6	Combination	-8.0581435	-72.129593	-0.415767	-2.4936934	-0.2350671	-17.323631
874	3.238	COMB6	Combination	-8.0581435	-70.262617	-0.415767	-2.4936934	-0.0427749	15.604567
874	3.7	COMB6	Combination	-8.0581435	-68.395641	-0.415767	-2.4936934	0.1495173	47.669289
874	4.163	COMB6	Combination	-8.0581435	-66.528666	-0.415767	-2.4936934	0.3418096	78.870535
874	4.625	COMB6	Combination	-8.0581435	-64.66169	-0.415767	-2.4936934	0.5341018	109.20831
874	0	COMB7	Combination	-27.433184	41.587597	0.4570662	1.401273	1.724284	156.69268
874	0.463	COMB7	Combination	-27.433184	43.454573	0.4570662	1.401273	1.5128909	137.02668
874	0.925	COMB7	Combination	-27.433184	45.321549	0.4570662	1.401273	1.3014978	116.4972
874	1.388	COMB7	Combination	-27.433184	47.188524	0.4570662	1.401273	1.0901046	95.104248
874	1.85	COMB7	Combination	-27.433184	49.0555	0.4570662	1.401273	0.8787115	72.847817
874	2.313	COMB7	Combination	-27.433184	50.922475	0.4570662	1.401273	0.6673184	49.72791

874	2.775	COMB7	Combination	-27.433184	52.789451	0.4570662	1.401273	0.4559252	25.744527
874	3.238	COMB7	Combination	-27.433184	54.656427	0.4570662	1.401273	0.2445321	0.897668
874	3.7	COMB7	Combination	-27.433184	56.523402	0.4570662	1.401273	0.033139	-24.812667
874	4.163	COMB7	Combination	-27.433184	58.390378	0.4570662	1.401273	-0.1782542	-51.386479
874	4.625	COMB7	Combination	-27.433184	60.257353	0.4570662	1.401273	-0.3896473	-78.823767

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 233025.822 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{456.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 23302582.2}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 3,862$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 2,279 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 7,259$$

$$\xi = 0,899$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,899 \times 456,25 \\ &= 410,17 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{7.259}{18.94 \times 100} \times 200 \times 456.25 \\ &= 58,6392 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 58,6392 \text{ cm}^2 = 5863,92 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **12D25 (5887.5 mm²)**

$$\begin{aligned}
 A' &= \delta \times A \\
 &= 0.4 \times 58,6392 \\
 &= 23,4557 \text{ cm}^2 = 2345,57 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **5 D25 (2453.13 mm²)**

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 157671.18 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Ml_x}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{456.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 15767118}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 4,6954$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 2,858 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 4,695$$

$$\xi = 0,924$$

$$\begin{aligned}
 \text{garis normal} &= \xi \times h \\
 &= 0,924 \times 456,25 \\
 &= 421,575 \leq t \text{ plat (OK!)}
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned}
 A &= \omega \times b \times h \\
 &= \frac{4,695}{18.94 \times 100} \times 200 \times 456.25 \\
 &= 37,9269 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Atarik} = 37,9269 \text{ cm}^2 = 3792,69 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **8 D25 (A = 3925 mm²)**

$$\begin{aligned}
A' &= \delta \times A \\
&= 0.4 \times 37,9269 \\
&= 15,1707 \text{ cm}^2 = 15,1707 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **4 D25 (A = 1962.50 mm²)**

• **Kontrol Dimensi Balok**

$$\begin{aligned}
D &= 83331.45 \text{ kg} \\
M_t &= 2493.69 \text{ kg.m} \\
\tau_b &= \frac{D}{b \times \frac{7 \times h_t}{8}} \\
&= \frac{83331.45}{80 \times \frac{7 \times 456.25}{8}} \\
&= 2,609 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

untuk $h_t > b$

$$\begin{aligned}
\psi &= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{h_t}{b}\right)} \\
&= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{456.25}{80}\right)}
\end{aligned}$$

$$\psi = 3,42$$

$$\begin{aligned}
\tau'_b &= \frac{\psi \times M_t}{b^2 \times h_t} \\
&= \frac{3,42 \times 249369}{40000 \times 456.25} \\
&= 0,2923
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_b + \tau'_b &= 2,609 + 0,2923 = 2,90 \text{ kg/cm}^2 \\ \tau_{bm} &= 1,35 \times \sqrt{300} \\ &= 23.383 > 2,90 \quad (\text{OK!})\end{aligned}$$

Ukuran balok memenuhi syarat.

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan *PBI '71 tabel 10.4.2*:

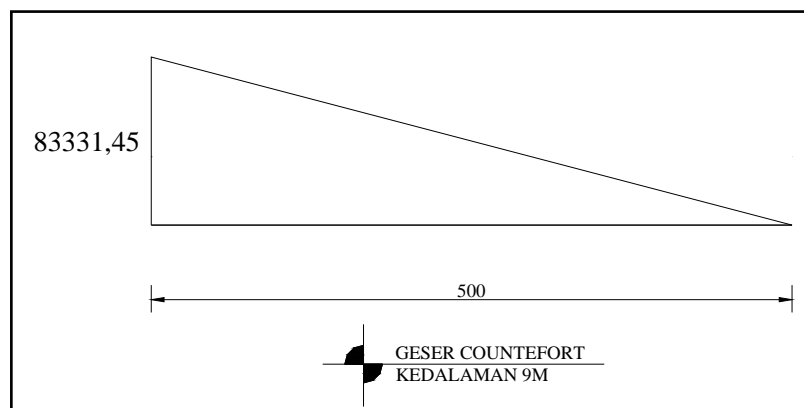
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0,43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0,68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.22. Gaya Geser Counterfort Kedalaman 9m

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{83331.45}{200 \times 7/8 \times 456.25} = 2.49 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b = 2.49 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-t} = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-s} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$,
sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 :

$$\begin{aligned}s &\leq 30 \text{ cm} \\ s &\leq 2/3 h = 2/3 \times 465 \\ &= 310 \text{ cm}\end{aligned}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : $\Phi 12 - 300$

- **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan *PBI 1971 pasal 11.8.6* perlu adanya tulangan memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{249369,34 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80} = 3,602002 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$

$$A_s = 1,131 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

$$4 \text{ D12 } (A_s = 4,526 \text{ cm}^2) \geq A_{\text{memanjang}} \text{ (OK!)}$$

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinuu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm

(PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{58,6392}{80 \times 456.25} = 0,0016$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} w &= \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left(\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right) \times 10^{-6} \\ &= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{2,5}{0,0016} \right] \times \left(2250 - \frac{7,5}{0,0016} \right) \times 10^{-6} \\ &= -0,1777 < 0,01 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

5.7.3.5. Kedalaman 11 m

$$ht = 500 - 7,5 - (0,5 \times 2,5) = 491,25 \text{ cm.}$$

Tabel 5.26. Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 11 m (SAP 2000).

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Ton	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m	Ton-m
1027	0	COMB4	Combination	35.807301	-73.739718	-1.4452168	-6.8820562	-1.7744427	-139.76391
1027	0.5	COMB4	Combination	35.807301	-71.721366	-1.4452168	-6.8820562	-1.0518343	-103.39864
1027	1	COMB4	Combination	35.807301	-69.703014	-1.4452168	-6.8820562	-0.3292259	-68.042548
1027	1.5	COMB4	Combination	35.807301	-67.684662	-1.4452168	-6.8820562	0.3933826	-33.695629
1027	2	COMB4	Combination	35.807301	-65.66631	-1.4452168	-6.8820562	1.115991	-0.357886
1027	2.5	COMB4	Combination	35.807301	-63.647958	-1.4452168	-6.8820562	1.8385994	31.970681
1027	2.5	COMB4	Combination	2.2940229	-25.295409	0.3705979	-5.3362019	0.5333737	69.055408
1027	3	COMB4	Combination	2.2940229	-23.277057	0.3705979	-5.3362019	0.3480748	81.198524
1027	3.5	COMB4	Combination	2.2940229	-21.258705	0.3705979	-5.3362019	0.1627758	92.332464
1027	4	COMB4	Combination	2.2940229	-19.240353	0.3705979	-5.3362019	-0.0225231	102.45723
1027	4.5	COMB4	Combination	2.2940229	-17.222001	0.3705979	-5.3362019	-0.207822	111.57282
1027	5	COMB4	Combination	2.2940229	-15.203649	0.3705979	-5.3362019	-0.393121	119.67923
1027	0	COMB5	Combination	6.1867406	11.646311	-0.2372223	2.7924257	-0.3311971	61.214265
1027	0.5	COMB5	Combination	6.1867406	13.664663	-0.2372223	2.7924257	-0.2125859	54.886522
1027	1	COMB5	Combination	6.1867406	15.683015	-0.2372223	2.7924257	-0.0939748	47.549602
1027	1.5	COMB5	Combination	6.1867406	17.701367	-0.2372223	2.7924257	0.0246364	39.203506
1027	2	COMB5	Combination	6.1867406	19.719719	-0.2372223	2.7924257	0.1432475	29.848235
1027	2.5	COMB5	Combination	6.1867406	21.738071	-0.2372223	2.7924257	0.2618587	19.483787
1027	2.5	COMB5	Combination	3.0930381	-2.284296	-0.0817633	1.207201	0.0585622	3.7378406
1027	3	COMB5	Combination	3.0930381	-0.265944	-0.0817633	1.207201	0.0994439	4.3754006
1027	3.5	COMB5	Combination	3.0930381	1.752408	-0.0817633	1.207201	0.1403255	4.0037846
1027	4	COMB5	Combination	3.0930381	3.77076	-0.0817633	1.207201	0.1812071	2.6229926
1027	4.5	COMB5	Combination	3.0930381	5.789112	-0.0817633	1.207201	0.2220887	0.2330246
1027	5	COMB5	Combination	3.0930381	7.807464	-0.0817633	1.207201	0.2629704	-3.1661194
1027	0	COMB6	Combination	34.912467	-73.426967	-1.3520313	-7.7523635	-1.6420534	-144.75013
1027	0.5	COMB6	Combination	34.912467	-71.408615	-1.3520313	-7.7523635	-0.9660378	-108.54123
1027	1	COMB6	Combination	34.912467	-69.390263	-1.3520313	-7.7523635	-0.2900221	-73.341512
1027	1.5	COMB6	Combination	34.912467	-67.371911	-1.3520313	-7.7523635	0.3859935	-39.150968
1027	2	COMB6	Combination	34.912467	-65.353559	-1.3520313	-7.7523635	1.0620092	-5.9696008
1027	2.5	COMB6	Combination	34.912467	-63.335207	-1.3520313	-7.7523635	1.7380248	26.202591
1027	2.5	COMB6	Combination	1.9792354	-26.898188	0.3921086	-5.7242488	0.5068803	64.575338
1027	3	COMB6	Combination	1.9792354	-24.879836	0.3921086	-5.7242488	0.310826	77.519845
1027	3.5	COMB6	Combination	1.9792354	-22.861484	0.3921086	-5.7242488	0.1147717	89.455175
1027	4	COMB6	Combination	1.9792354	-20.843132	0.3921086	-5.7242488	-0.0812826	100.38133
1027	4.5	COMB6	Combination	1.9792354	-18.82478	0.3921086	-5.7242488	-0.2773369	110.29831
1027	5	COMB6	Combination	1.9792354	-16.806428	0.3921086	-5.7242488	-0.4733912	119.20611
1027	0	COMB7	Combination	-26.476624	62.815147	0.580796	1.4915921	0.6643554	179.10893
1027	0.5	COMB7	Combination	-26.476624	64.833499	0.580796	1.4915921	0.3739574	147.19677
1027	1	COMB7	Combination	-26.476624	66.851851	0.580796	1.4915921	0.0835594	114.27543

1027	1.5	COMB7	Combination	-26.476624	68.870203	0.580796	1.4915921	-0.2068386	80.344916
1027	2	COMB7	Combination	-26.476624	70.888555	0.580796	1.4915921	-0.4972366	45.405227
1027	2.5	COMB7	Combination	-26.476624	72.906907	0.580796	1.4915921	-0.7876345	9.4563608
1027	2.5	COMB7	Combination	7.1279858	18.830982	-0.0387044	1.1769848	-0.0848732	-34.731894
1027	3	COMB7	Combination	7.1279858	20.849334	-0.0387044	1.1769848	-0.0655209	-44.651973
1027	3.5	COMB7	Combination	7.1279858	22.867686	-0.0387044	1.1769848	-0.0461687	-55.581228
1027	4	COMB7	Combination	7.1279858	24.886038	-0.0387044	1.1769848	-0.0268165	-67.519659
1027	4.5	COMB7	Combination	7.1279858	26.90439	-0.0387044	1.1769848	-0.0074643	-80.467266
1027	5	COMB7	Combination	7.1279858	28.922742	-0.0387044	1.1769848	0.0118879	-94.424049

- **Penulangan Tumpuan**

$$M_{tumpuan} = 179108.93 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{491.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 17910893}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 4,405$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 2,660 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 5,678$$

$$\xi = 0,909$$

$$\begin{aligned} \text{garis normal} &= \xi \times h \\ &= 0,909 \times 491,25 \\ &= 446,55 \leq t \text{ plat (OK!)} \end{aligned}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$\begin{aligned} A &= \omega \times b \times h \\ &= \frac{5,678}{18.94 \times 100} \times 200 \times 491.25 \end{aligned}$$

$$= 45,8677 \text{ cm}^2$$

$$\text{Atarik} = 45,8677 \text{ cm}^2 = 4586,77 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **10 D25 (A = 4906.25 mm²)**

$$A' = \delta \times A$$

$$= 0.4 \times 45,8677$$

$$= 18,3471 \text{ cm}^2 = 1834,71 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **4 D25 (A = 1962.5 mm²)**

- **Penulangan Lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 114275.43 \text{ kg.m}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Ml_x}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{491.25}{\sqrt{\frac{18.94 \times 114275.43}{80 \times 2250}}}$$

$$Ca = 5,5153$$

Untuk $\delta = 0.4$ dari Tabel Lentur cara n didapat :

$$\Phi = 3,435 \geq \Phi_n \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = 3,509$$

$$\xi = 0,922$$

$$\text{garis normal} = \xi \times h$$

$$= 0,922 \times 491,25$$

$$= 452,933 \leq t \text{ plat (OK!)}$$

Sehingga untuk perhitungan balok dianggap sebagai balok persegi biasa

$$A = \omega \times b \times h$$

$$= \underline{3,509} \times 80 \times 491.25$$

$$18.94 \times 100$$

$$= 28,3462 \text{ cm}^2$$

$$\text{Atarik} = 28,3462 \text{ cm}^2 = 2834,62 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tarik dipakai : **6 D25 (A = 2943.75 mm²)**

$$A' = \delta \times A$$

$$= 0.4 \times 28,3462$$

$$= 11,3385 \text{ cm}^2 = 1133,85 \text{ mm}^2$$

Jadi untuk tulangan tekan dipakai : **3 D25 (A = 1962.50mm²)**

- **Kontrol Dimensi Balok**

$$D = 62815.15 \text{ kg}$$

$$Mt = 1491.59 \text{ kg.m}$$

$$\tau_b = \frac{D}{b \times \frac{7 \times ht}{8}}$$

$$= \frac{62815.15}{80 \times \frac{7 \times 491.25}{8}}$$

$$= 1.7947 \text{ kg/cm}^2$$

untuk $ht > b$

$$\psi = 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{ht}{b} \right)}$$

$$= 3 + \frac{2,6}{\left(0,45 + \frac{491,25}{80} \right)}$$

$$\psi = 3,88$$

$$\tau'_b = \frac{\psi \times Mt}{b^2 \times ht}$$

$$= \frac{3,88 \times 149159}{6400 \times 491.25}$$

$$= 0,4523$$

$$\tau_b + \tau'_b = 1.7947 + 0,4523 = 4,94 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{bm} = 1,35 \times \sqrt{300}$$

$$= 23.383 > 4,94 \quad (\text{OK!})$$

Ukuran balok memenuhi syarat

- **Penulangan Geser**

Tegangan beton yang diijinkan berdasarkan *PBI '71 tabel 10.4.2*:

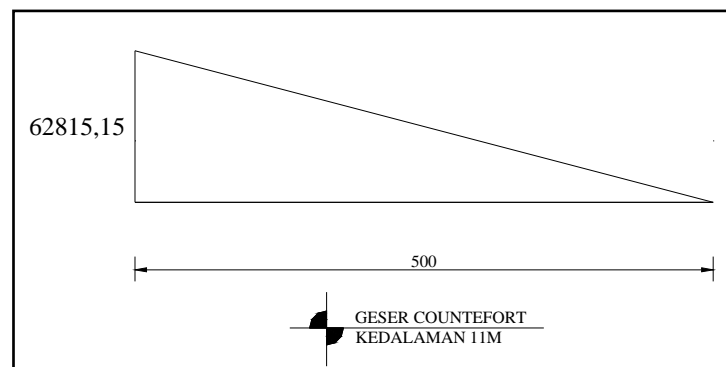
Untuk pembebanan tetap : $\tau'_{b-t} = 0.43 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-t} = 0,43 \times \sqrt{300} = 7.54 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk pembebanan sementara : $\tau'_{b-s} = 0.68 \sqrt{\sigma'_{bk}}$

$$\tau_{b-s} = 0,68 \times \sqrt{300} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan beton yang bekerja pada struktur :



Gambar 5.23. Gaya Geser Counterfort Kedalaman 11m

$$\tau_b = \frac{D}{b \times 7/8 \times ht} = \frac{62815.15}{80 \times 7/8 \times 491.25} = 1.88 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_b = 1.88 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-t} = 7.45 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{b-s} = 11.78 \text{ kg/cm}^2$,
sehingga tulangan geser dipasang sebagai tulangan praktis. (PBI 1971 pasal 11.7.3).

PBI pasal 9.3.6 : $s \leq 30 \text{ cm}$

$$s \leq 2/3 h = 2/3 \times 500 = 333,333 \text{ cm}$$

jarak tulangan direncanakan = 30 cm

Jadi tulangan geser praktis yang dipakai adalah : **Φ12 - 300**

- **Penulangan Memanjang**

Berdasarkan *PBI 1971 pasal 11.8.6* perlu adanya tulangan memanjang, yaitu :

$$A_{\text{memanjang}} = \frac{M_t \times U_t}{2 \times \sigma_{a \text{ ijin}} \times \Phi_t} = \frac{149159,21 \times (50 + 80) \times 2}{2 \times 2250 \times 50 \times 80} = 2,1545 \text{ cm}^2$$

direncanakan tulangan memanjang : $\phi = 1,2 \text{ cm}$

$$A_s = 1,131 \text{ cm}^2$$

sehingga dipasang tulangan memanjang :

2 D12 (As = 2,263 cm²) ≥ A_{memanjang} (OK!)

- **Kontrol Retak**

Lebar retak maksimum pada pembebanan tetap akibat beban kerja untuk beton di luar ruang bangunan yang tidak terlindung dari hujan, terik matahari langsung, kontinu berhubungan dengan air dan tanah atau berada di lingkungan yang agresif adalah 0.01cm

(PBI 1971 Pasal 10.7 ayat 1.b)

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h} = \frac{4,94}{80 \times 491.25} = 0,001199$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$w = \alpha \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \right] \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \times 10^{-6}$$

$$= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \times \frac{2,5}{0,00119} \right] \times \left[\frac{2250 - 7,5}{0,00119} \right] \times 10^{-6}$$

$$= -5,3880 < 0,01 \text{ (OK!)}$$

Untuk lebih jelasnya penulangan counterfort dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5.27. Tabel Penulangan Lentur Counterfort

Kedalaman Conterfort	Daerah	h (cm)	M.Rencana (kg.m)	D (kg)	T (kg.m)	Ca	$\Phi' = (1,029)$		$100\eta\omega$	ξ		Aperlu (cm ²)	Apakai (cm ²)	Tulangan Pakai		
							Φ	$\Phi > \Phi'$						As	Long.	Sengkang
3,8m	Tump.	356,25	272372,283	95073,28	3612,767	5,649	3,444	OK!	3,491	0,225	tarik	70,502	73,5938	15-D25	5-D12	Φ12-300
												28,201	29,4375	6-D25		
	Lap.	356,25	119030,668	95073,28	3612,767	8,545	5,452	OK!	1,46	0,155	tarik	29,485	29,4375	6-D25	5-D12	Φ12-300
												11,794	14,7188	3-D25		
7m	Tump.	416,25	158168,125	67584,6	116,039	7,412	4,699	OK!	1,919	0,176	tarik	38,755	39,2500	8-D25	2-D12	Φ12-300
												15,502	19,6250	4-D25		
	Lap.	416,25	96138,545	67584,6	116,039	9,508	6,11	OK!	1,199	0,141	tarik	24,214	24,5313	5-D25	2-D12	Φ12-300
												9,686	9,8125	2-D25		
9m	Tump.	456,25	233025,823	83331,446	2493,693	6,107	3,788	OK!	2,898	0,207	tarik	58,526	58,8750	12-D25	4-D12	Φ12-300
												23,410	24,5313	5-D25		
	Lap.	456,25	157671,187	83331,446	2493,693	7,416	4,714	OK!	1,926	0,175	tarik	38,896	39,2500	8-D25	4-D12	Φ12-300
												15,559	19,6250	4-D25		
11m	Tump.	491,25	179108,929	62815,147	1491,592	6,966	4,366	OK!	2,211	0,187	tarik	44,652	49,0625	10-D25	2-D12	Φ12-300
												17,861	19,6250	4-D25		
	Lap.	491,25	114275,43	62815,147	1491,592	8,720	5,556	OK!	1,382	0,152	tarik	27,910	29,4375	6-D25	2-D12	Φ12-300
												11,164	19,6250	4-D25		

Sumber : Perhitungan

5.7.4. PERENCANAAN STRUKTUR LANTAI

Pada dasarnya ada dua bagian pokok pada lantai dock yaitu :

1. Keel Block slab adalah bantalan kapal yang berada di tengah berfungsi sebagai penyangga kapal bagian tengah. Dan keel ini terkena bagian kapal yang paling besar dari kapal.
2. Bilge Block Slab adalah bagian kapal yang berada di pinggir yang berfungsi sebagai penyangga kapal bagian tepi. Bilge ini akan terkena beban yang tidak terlalu besar karena di tepi dari garis sentral titik berat kapal.

5.7.4.1. Pembebanan Lantai Graving Dock

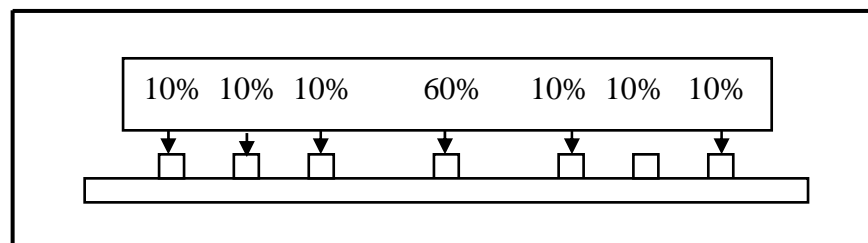
Adapun perencanaan pembebanan lantai graving dock adalah sebagai berikut :

1. Akibat beban kapal

Lantai graving dock harus mampu menerima beban kapal terbesar yaitu kapasitas 4000 DWT (kapal rencana). Jika graving dock ini hanya di desain untuk menerima beban kapal terbesar saja, maka efisiensi dari graving dock itu akan sangat merugikan. Untuk itu graving dock akan kita rancang juga harus bisa ditempati atau dipakai kapal-kapal lainnya.

Prosentase pembebanan dlebihkan 20% sebagai faktor keamanan.

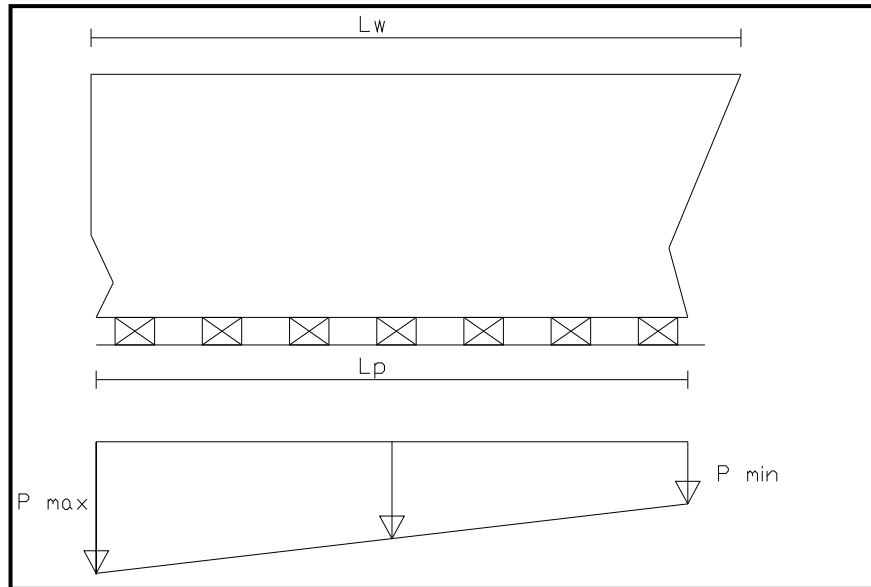
Untuk lebih jelasnya akan ditunjukkan rencana pembebanan pada lantai dock pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 di bawah:



Gambar 5.24. Prosentase pembebanan akibat kapal pada lantai dock

Beban pada lantai dock dapat dihitung dengan menggunakan perumusan berikut ini:

$$P_{\max, \min} = \frac{Cd}{Lp} \left[1 \pm \frac{3(Lw - Lp)}{Lp} \right]$$



Gambar 5.25. Beban kapal pada lantai dock

dimana kapasitas kapal rencana adalah 4000 DWT, sehingga berat kapal kosong tanpa muatan adalah 70 % dari DWT-nya, maka:

$$Cd = (70 \% \times 4000) = 2800 \text{ ton}$$

$$Lw = LOA = 122 \text{ m}$$

$$Lp = LBP = 90 \% LOA = 0,9 \times 122 = 109,8 \text{ m}$$

$$P_{\max, \min} = \frac{2800}{109,8} \left[1 \pm \frac{3(122 - 109,8)}{109,8} \right]$$

$$= 25,501 (1 \pm 0,333)$$

$$p_{\max} = \mathbf{34,001 \text{ t/m}} \text{ (dipakai)}$$

$$p_{\min} = 24,834 \text{ t/m (tidak dipakai)}$$

$$P_{\text{keel}} \text{ (per - 2m)} = 60 \% \times 34,001 \times 2 = 40,802 \text{ ton.}$$

$$P_{\text{bilge}} \text{ (per - 2m)} = 10 \% \times 34,001 \times 2 = 6,800 \text{ ton.}$$

2. *Akibat beban hidup*

Beban hidup yang bekerja pada lantai graving dock bisa diperkirakan sebesar 3 t/m^2 sebagai beban-beban peralatan yang bekerja di atas lantai.

3. *Akibat berat air di dalam graving dock*

Pada saat dewatering, kondisi air pada graving dock setinggi 1,5 m dianggap sudah tidak mampu menahan berat kapal (beban kapal bekerja 100 % pada keel blok dan bilge), sehingga untuk luasan $5 \times 5 \text{ m}^2$, (pengambilan ukuran shell dalam analisa SAP 2000) beban air adalah sebesar : $5 \times 5 \times 1,5 \times \gamma_w = 5 \times 5 \times 1,5 \times 1,05 = 39,375 \text{ ton}$.

4. *Akibat Uplift Air di Bawah Lantai Graving Dock*

Gaya uplift pada lantai graving dock adalah $12,81 \text{ t/m}^2$, karena ukuran shell dalam analisa SAP 2000 adalah $5 \times 5 \text{ m}^2$, maka gaya uplift tersebut menjadi $12,81 \times 5 \times 5 = 320,25 \text{ ton}$.

Beban-beban diatas adalah input data SAP 2000 untuk menentukan Momen pada keel dan Bilge untuk perencanaan penulangan lantai graving dock.

Dari beban-beban diatas kita dapat merencanakan lantai untuk graving dock.

1. PERENCANAAN KEEL

Karena keel letaknya ditengah-tengah, tidak dituntut bisa bergerak kekiri maupun kekanan sehingga kita bisa mendisain keel secara permanen.

Perencanaan Bantalan Keel

Pengaturan keel diletakkan tiap 1,5 m. Dalam perencanaannya memakai kayu kelas I dan kelas awet I misal kayu bengkirai atau kayu hitam.

$$\delta_{tk \perp} = 40 \text{ kg/cm}^2 = 400 \text{ t/m}^2$$

beban yang menekan bantalan = $60\% \times 34,001 \times 1,5 = 30,601 \text{ ton}$

$$\sigma_{tk \perp} = 400 \cdot \frac{2}{3} = \frac{P}{A} \rightarrow 400 \cdot \frac{2}{3} = \frac{30,601}{B \cdot 1,5}$$

$$B = 0,08 \text{ m} \rightarrow \text{diambil} \approx 0,40 \text{ m}$$

Jadi ukuran bantalan $1,5 \times 0,4 \times 0,3 \text{ m}^3$

Dalam pelaksanaan bantalan kayu yang digunakan sebanyak 2 lapis yang ditempatkan diatas keel block beton dengan tinggi 60 cm.

2. PERENCANAAN BILGE

Bilge sengaja didesain bisa bergerak ke kiri dan kekanan (moveable bilge) karena fungsi bilge sebagai penjepit dari kapal. Jadi bilge harus menyesuaikan bentuk kapal.

Perencanaan Bantalan Bilge

Pengaturan bilge diletakkan tiap 1,5 m. Direncanakan memakai kayu kelas kuat I dan kelas Awet I dan kelas awet I misal kayu bengkirai atau kayu hitam.

$$\delta_{tk \perp} = 40 \text{ Kg/cm}^2 = 400 \text{ T/m}^2$$

beban yang menekan bantalan = $10\% \times 34,001 \times 1,5 = 5,100 \text{ ton}$.

$$\sigma_{tk \perp} = 400 \cdot \frac{2}{3} = \frac{P}{A} \rightarrow 400 \cdot \frac{2}{3} = \frac{5,100}{B \cdot 1,5}$$

$$B = 0,02 \text{ m} \rightarrow \text{diambil} \approx 0,30 \text{ m}$$

Jadi ukuran bantalan $1 \times 0,3 \times 0,3 \text{ m}^3$

Dalam pelaksanaan bantalan kayu yang digunakan sebanyak 2 lapis yang ditempatkan diatas bilge block beton dengan tinggi 60 cm.

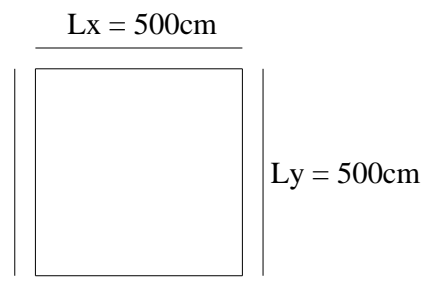
5.7.4.2. Perhitungan Penulangan Lentur Lantai

Perhitungan penulangan lantai dock direncanakan per segmen yakni seluas 5x5m. Dalam bowles tekanan tanah samping dianggap sebagai beban hidup, sehingga memiliki faktor beban $\phi = 1.6$.

Tebal lantai direncanakan : 120 cm

$H = ht\text{-selimut beton} = 120 - 7.5 - 0,5(1.6) = 111.7 \text{ cm}$

$$A_{min} = \frac{12}{\sigma_{au}} b.h = \frac{12}{3390} \times 100 \times 111.7 = 39.54 \text{ cm}$$



$L_x = 5 \text{ m}$

$L_y = 5 \text{ m}$

$L_x/L_y = 5 \text{ m} / 5 \text{ m} = 1 \rightarrow$ tulangan dua arah

Dari analisa SAP diperoleh momen, gaya lintang, dan torsi maksimum yang bekerja pada dinding graving dock.(Lihat 5.28).

Tabel 5.28. Gaya Maksimum Yang Bekerja Pada Struktur Lantai

Area	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12	V13	V23
Text	Text	Text	Text	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton-m/m	Ton/m	Ton/m
817	883	COMB4	Combination	8,356859	100,4021	-17,847	-17,195	25,841
817	885	COMB4	Combination	17,47944	49,74244	-17,389	-17,195	-85,9
817	882	COMB4	Combination	63,06737	240,6404	16,4774	-40,847	-85,9
817	884	COMB4	Combination	-5,18355	35,3418	16,0187	-40,847	25,841
817	883	COMB5	Combination	-6,12962	31,62896	-11,525	-7,4751	-3,402
817	885	COMB5	Combination	1,132372	-4,73458	-9,857	-7,4751	-61,74
817	882	COMB5	Combination	59,50473	147,9466	1,56885	-38,21	-61,74
817	884	COMB5	Combination	-24,5938	38,4671	-0,0987	-38,21	-3,402
817	883	COMB6	Combination	8,653862	96,74819	-14,538	-18,745	26,739
817	885	COMB6	Combination	23,6556	54,37177	-15,165	-18,745	-74,26
817	882	COMB6	Combination	56,15424	39,98527	16,6956	-36,346	-74,26
817	884	COMB6	Combination	-2,84865	30,52974	17,3235	-36,346	26,739

817	883	COMB7	Combination	2,356433	-28,1101	9,03037	9,98151	-17,1
817	885	COMB7	Combination	-3,18876	6,116283	8,90646	9,98151	50,136
817	882	COMB7	Combination	-22,339	-119,1	-10,502	18,4754	50,136
817	884	COMB7	Combination	4,44102	14,75221	-10,378	18,4754	-17,1

- **Arah x**

$$\text{Momen} = 63067,3692 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{au} = \mathbf{3390} \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \mathbf{2250} \text{ kg/cm}^2$$

$$n = \mathbf{18.94}$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{111.7}{\left(\frac{18.94 \times 39277604.4}{100 \times 2250} \right)^{0.5}}$$

$$Ca = 4,848$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = \mathbf{2,866} \geq \Phi_v \text{ (OK!)}$$

$$100\eta\omega = \mathbf{4,885}$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} = 0,002579$$

$$A = \omega \times b \times h = 28,8096 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 28,8096 \text{ cm}^2 = 2880,96 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D32 - 250 (A = 3215,36 mm²)

- **Arah y**

$$\text{Momen} = 240640,4000 \text{ kg.m}$$

$$\sigma_{au} = 3390 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = 2250 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 18.94$$

$$\Phi_n = \frac{2250}{18.94 \times 115,5} = 1,0$$

$$Ca = \frac{h}{\sqrt{\frac{n \times Mlx}{b \times \sigma a}}}$$

$$Ca = \frac{111.7}{\left(\frac{18.94 \times 26403250}{100 \times 2250} \right)^{0,5}}$$

$$Ca = 2,615$$

Untuk $\delta = 0$ *dari Tabel Lentur cara n didapat :*

$$\Phi = 2,049 \geq \Phi_v \quad (\text{OK!})$$

$$100\eta\omega = 8,005$$

$$\omega = \frac{100\eta\omega}{18.94 \times 100} = 0.007186$$

$$A = \omega \times b \times h = 0,004227 \text{ cm}^2$$

$$\text{Aperlu} = 49,7460 \text{ cm}^2 = 4974,60 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan : D32 - 150 (A = 5358,9333 mm²)

- **Kontrol Retak**

$$C_3 = 1,5$$

$$C_4 = 0,04$$

$$C_5 = 7,5$$

$$\omega_p = \frac{A}{b \times h}$$

$$= \frac{49,7460}{100 \times 111,7} = 0,00423$$

Besarnya lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} w &= a \left[C_3 \times c + C_4 \times \frac{d}{\omega_p} \times \left[\sigma_{(a)} - \frac{C_5}{\omega_p} \right] \right] \times 10^{-6} \\ &= 1 \left[1,5 \times 7,5 + 0,04 \right] \times \frac{3,2}{0,00423} \times \left[2250 - \frac{7,5}{0,00423} \right] \times 10^{-6} \\ &= -0,01 \leq 0,01 \text{ cm (OK!)} \end{aligned}$$

- **Kontrol Lendutan**

$$\frac{1}{35} Lx = \frac{1}{35} 500 = 14,286 \text{ cm}$$

$h = 111,7 \text{ cm} > 14,286 \text{ cm} \rightarrow$ lendutan tidak perlu diperiksa.

Untuk lebih jelasnya penulangan lantai dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5.29. Tabel Penulangan Lantai

Daerah	Arah	h	M.Rencana	Ca	$\Phi' = (1,0)$		100 $\eta\omega$	Tulangan yang diperlukan		
					Φ	$\Phi > \Phi'$		Aperlu	Tulangan pakai	Apakai
		(cm)	(kg.m)					(cm ²)		(cm ²)
Mtx = - Mlx	X	111,7	392776.045	2.323	1.088	OK!	18.07	106.56	D32-75	107.17
Mty = - Mly	Y	111,7	264032.50	2.914	1.481	OK!	13.61	80.266	D32-100	80.384

5.7.5. KONTROL STABILITAS

Struktur dinding graving dock dapat diasumsikan fungsinya seperti dinding penahan tanah. Sehingga dinding tersebut harus memenuhi beberapa kontrol kestabilan, antara lain :

1. Dinding tidak boleh bergeser secara horizontal.
2. Dinding tidak boleh berguling.
3. Daya dukung tanah harus mampu menahan beban yang bekerja.
4. Struktur tidak boleh mengalami sliding.

Perhitungan kontrol stabilitas ditinjau per-segmen (5m), karena jarak counterfort sebagai pengaku = 5m.

Seperti yang telah dibahas sebelumnya pada *Sub-Bab Perhitungan Tekanan Lateral*, diperoleh gaya - gaya yang menekan pada dinding graving dock, yaitu :

$$Pa_1 = 1,285 \text{ t/m}$$

$$Pa_2 = 0,565 \text{ t/m}$$

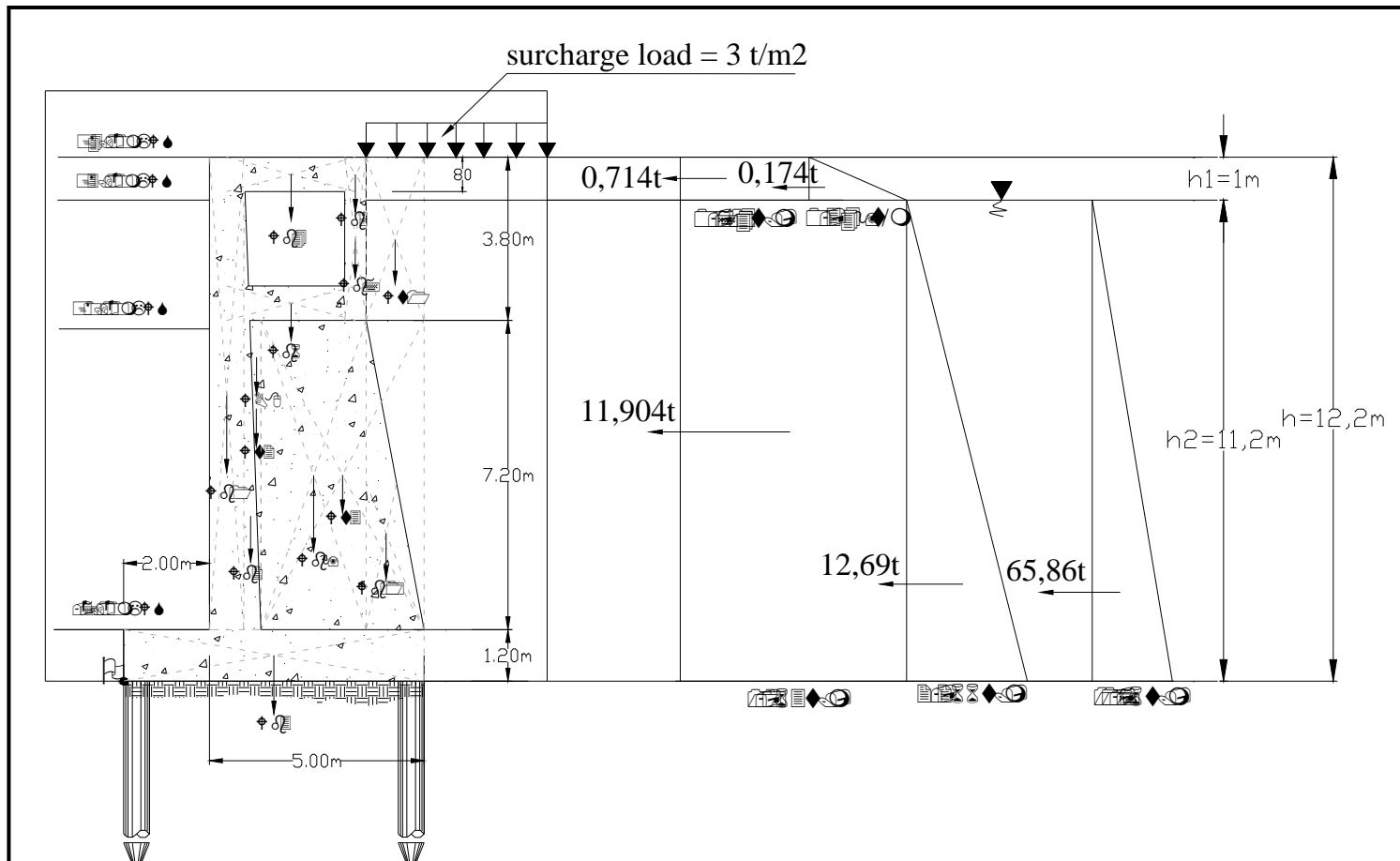
$$Pa_3 = 15,03 \text{ t/m}$$

$$Pa_4 = 12,69 \text{ t/m}$$

$$\underline{Pa_5 = 65,86 \text{ t/m} \quad +}$$

$$P_{\text{total}} = 95,43 \text{ t/m}$$

Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 5.26.



Gambar 5.26. Gaya – Gaya yang bekerja pada dinding graving dock.

5.7.5.1. Kontrol Geser

Berat Beton :

Dinding	= $W_{B1} = 2,4 \times 0,8 \times 11$	= 21,120 t.m
	= $W_{B2} = 2,4 \times 0,5 \times 0,4 \times 11$	= 5,280 t.m
Lantai	= $W_{B3} = 2,4 \times 6 \times 1,2$	= 17,280 t.m
Plat	= $W_{B4} = 2,4 \times 3 \times 0,2 \times 4$	= 5,760 t.m
B. memanjang	= $W_{B5} = 2,4 \times 0,5 \times 0,8 \times 5$	= 4,800 t.m
B. melintang	= $W_{B6} = 2,4 \times 0,5 \times 0,8 \times 3$	= 2,880 t.m
Balok tegak	= $W_{B7} = 2,4 \times 0,5 \times 0,8 \times 3$	= 2,880 t.m
Counterfort	= $W_{B8} = 2,4 \times 0,5 \times 1,05 \times 7,2 \times 0,8$	= 7,258 t.m
	= $W_{B9} = 2,4 \times 3,8 \times 7,2 \times 0,8$	= 52,531 t.m
	= $W_{B10} = 2,4 \times 0,5 \times 1,35 \times 7,2 \times 0,8$	= 9,331 t.m +
	W_B total	= 129,120 t.m

Berat Tanah	= $W_{T1} = 1,9 \times 1,4 \times 3,8$	= 9,747 t.m
	= $W_{T2} = 1,9 \times 0,5 \times 1,05 \times 7,2$	= 7,182 t.m
	= $W_{T3} = 1,9 \times 4,2 \times 7,2$	= 57,456 t.m +
	W_T total	= 74,385 t.m

Berat beton dan berat tanah tersebut merupakan gaya perlawanan yang menahan gaya penggerak. Gaya- gaya tersebut dihitung dalam per-5m panjang, yang disajikan dalam Tabel 5.30.

Tabel 5.30. Gaya –gaya yang bekerja pada dinding per-5m panjang

Gaya	P	P per-5m
	(ton/m)	(ton)
P ₁	0,714	3,570
P ₂	0,174	0,870
P ₃	11,904	59,520
P ₄	12,690	63,450
P ₅	65,860	329,300
	TOTAL	456,710
W _{B1}	21,120	105,600
W _{B2}	5,280	26,400
W _{B3}	17,280	86,400
W _{B4}	5,760	28,800
W _{B5}	4,800	24,000
W _{B6}	2,880	14,400
W _{B7}	2,880	14,400
W _{B8}	7,258	36,288
W _{B9}	52,531	262,656
W _{B10}	9,331	46,656
	TOTAL	645,600
W _{T1}	9,747	48,735
W _{T2}	7,182	35,910
W _{T3}	57,456	287,280
	TOTAL	371,925

$$SF = \frac{\Sigma \text{Gaya Penahan}}{\Sigma \text{Gaya Penggerak}}$$

$$SF = \frac{W_{TOTAL} \cdot \text{tg } \theta}{P_{TOTAL}}$$

$$SF = \frac{(645,600 + 371,925) \cdot \text{tg } 38^\circ}{456,710}$$

$$SF = 2,38 > 2 \text{ (OK!)}$$

Lebih jelasnya lihat Tabel 5.31.

Tabel 5.31. Kontrol Geser.

Wtotal	tgθ	W tgθ	P Lateral per-5m	SF	Ket
1389,450	0,781	1085,16045	456,710	2,38	> 2 (OK!)

5.7.5.2. Kontrol Guling

Kontrol guling diperhitungkan terhadap titik O. Untuk itu perlu diketahui besarnya momen terhadap titik O.

Perhitungan besarnya momen yang bekerja terhadap titik O disajikan dalam bentuk Tabel 5.32. berikut :

Tabel 5.32. Momen terhadap titik O

Gaya	P	P per-5m	Panjang Lengan ke O	M thd titik O
	(ton/m)	(ton)	(m)	(ton m)
P ₁	0,714	3,570	11,57	41,305
P ₂	0,174	0,870	11,53	10,031
P ₃	11,904	59,520	5,6	333,312
P ₄	12,690	63,450	3,73	236,669
P ₅	65,860	329,300	3,73	1228,289
	TOTAL	456,710	M GULING	1849,606
W _{B1}	21,120	105,600	2,4	253,440
W _{B2}	5,280	26,400	2,93	92,400
W _{B3}	17,280	86,400	3,5	336,960
W _{B4}	5,760	28,800	3,9	155,520
W _{B5}	4,800	24,000	5,4	93,600
W _{B6}	2,880	14,400	3,9	77,760
W _{B7}	2,880	14,400	5,4	73,440
W _{B8}	7,258	36,288	2,85	221,357
W _{B9}	52,531	262,656	5,1	1339,546
W _{B10}	9,331	46,656	6,1	284,602
	TOTAL	645,600	W_B TOTAL	2928,624
W _{T1}	9,747	48,735	6,325	308,249
W _{T2}	7,182	35,910	4,9	175,959
W _{T3}	57,456	287,280	5,9	1694,952
	TOTAL	371,925	W_T TOTAL	2179,160

$$SF = \frac{\Sigma M \text{ Penahan}}{\Sigma M \text{ Guling}}$$

$$SF = \frac{(2928,624 + 2179,160)}{1849,606}$$

$$SF = 2,76 > 1,2 \text{ (OK!)}$$

Lebih jelasnya lihat Tabel 5.33:

Tabel 5.33. Kontrol Guling.

M_{PENAHAN}	M_{GULING}	SF	Ket		
5107,784	1849,606	2,76	>	2	(OK!)

5.7.5.3. Kontrol Daya Dukung

Kontrol Daya Dukung akan dibahas dalam *Sub-Bab Perhitungan Tiang Pancang*.

5.8 PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

5.8.1. KARAKTERISTIK FISIS DAN MEKANIS TANAH

Karakteristik fisis dan mekanis tanah telah dibahas pada Bab V sebelumnya.

5.8.2. PILE FOUNDATION BEARING CAPACITY

Dari hasil data tanah tampak bahwa lapisan tanah didominasi oleh lempung.

Formula yang dipakai adalah dari Luciano Decourt (1982) ;

$$\begin{aligned}
 Q_L &= Q_p + Q_s = q_p \cdot A_p + q_s \cdot A_s \\
 &= [N_p \cdot K \cdot A_p] + \left[\left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \cdot A_s\right]
 \end{aligned}$$

Dimana :

- Q_p, Q_s = daya dukung dari aspek point bearing dan skin friction.

- N_p = harga rata-rata SPT pada interval $4B$ diatas dan dibawah dasar pondasi (B = diameter tiang)
- N_s = harga rata-rata nilai SPT disepanjang tiang yang terbenam (D) dengan besaran $3 \leq N \leq 50$.
- K = koefisien karakteristik tanah ;
 - 12 t/m^2 , untuk lempung
 - 15 t/m^2 , untuk lempung berlanau
 - 20 t/m^2 , untuk lanau berlempung
 - 30 t/m^2 , untuk pasir berlanau.
- A_p, A_s = luas penampang dengan tiang dan luas selimut tiang

Untuk tiang pondasi tekan dipakai prinsip $Q_L = Q_p + Q_s$ dan tiang tarik $Q_p = Q_s$. Nilai $Q_L = Q_s$ ini dipakai untuk prinsip kemampuan tiang sebagai akibat adanya uplift force.

5.8.3. DAYA DUKUNG TANAH TANPA TIANG PONDASI PADA GRAVING DOCK

Dalam perhitungan daya dukung tanah tanpa tiang pondasi, pada prinsipnya nilai q_{ad} harus lebih besar dan sama dengan working load maximum. Apabila kurang mampu, maka dipikul sebagian oleh tiang-tiang pondasi dibawahnya.(Gambar 5.28).

Working load maximum didasarkan pada kombinasi :

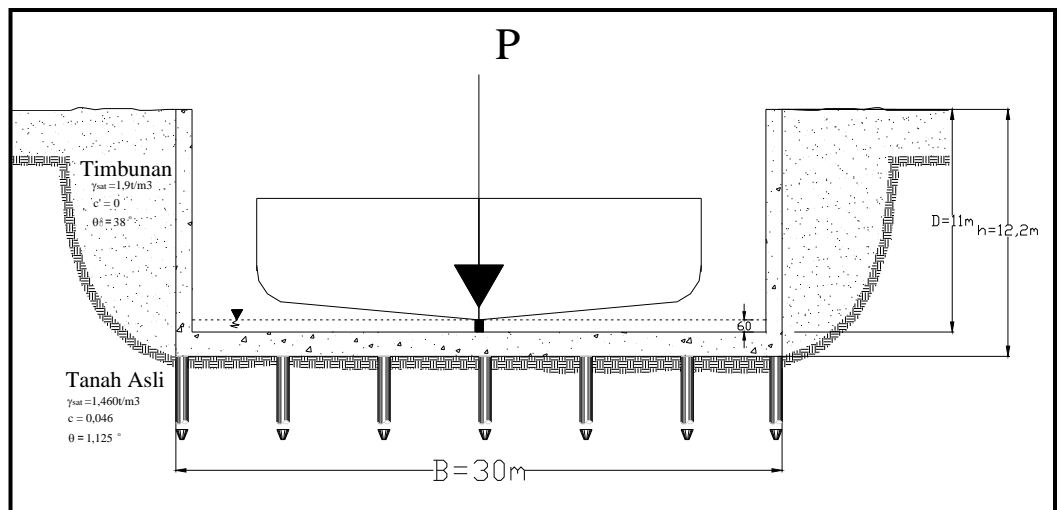
- Berat sendiri = 30940 ton
- Berat kapal 4000 DWT kosong = $70\% \times 4000 \text{ ton}$ = 2800 ton
- Genangan air didalam dock setinggi keel block(0,6 m) :
 $(0,6 \text{ m} \times 30\text{m} \times 130\text{m} \times 1,05 \text{ t/m}^2)$ = 2457 ton +

 Pmax ekivalen = **36197 ton**

$$\sigma_{\max} \text{ yang terjadi} = \frac{P}{B \times L} = \frac{36197}{30 \times 130} = 9,281 \text{ t/m}^2.$$

Lebih jelasnya lihat Gambar 5.27

Dimensi graving dock = $L \times B \times D = 130 \text{ m} \times 30 \text{ m} \times 11 \text{ m}$.



Gambar 5.27. Bearing Capacity Tanpa Tiang Pondasi

Perhitungan untuk kondisi short term dengan dasar pondasi segiempat ($L/B < 10$) :

$$q_l = \left(1 - 0,2 \cdot \frac{B}{L}\right) \gamma_{sat} \cdot \frac{1}{2} B \cdot N_\gamma + \left(1 + 0,2 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot c \cdot N_c + \gamma_{sat} \cdot D \cdot N_q$$

Harga koefisien N_γ , N_c , N_q diperoleh dari *Caquot & Kerisel* seperti dalam Tabel 5.34.

Tabel 5.34. Harga koefisien N_γ , N_c , N_q

ϕ^0	N_c	N_γ	N_q
0	5,14	0,00	1,00
5	6,50	0,10	1,60
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	46,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	64,20
45	134,00	254,00	135,00

Dari Tabel di atas maka diperoleh :

$$\Phi' = 0^\circ \longrightarrow N_c = 5.14$$

$$N_\gamma = 0.00$$

$$N_q = 1.00$$

(CAQUOT & KERISEL)

$$q_l = (1 - 0,2 \cdot \frac{30}{130}) 17,58 \cdot \frac{1}{2} 30 \cdot 0 + (1 + 0,2 \cdot \frac{30}{130}) \cdot 0,046 \cdot 5,14 + (1,47 \cdot 6 + 1,46 \cdot 5,2) \cdot 11,1$$

$$q_l = 193,445 \text{ t/m}^2$$

Daya dukung tanah maximum pada graving dock (tanpa ada tiang-tiang pondasi) = 193,445 t/m² .

Daya dukung ijin bila safety faktor = 3 :

$$q_{ad} = \frac{193,445}{3} = 64,482 \text{ t/m}^2 \geq \frac{P}{B \times L} \dots\dots\dots (\text{OK!})$$

Tampak bahwa σ_{max} jauh lebih kecil dari tegangan tanah ijin sebagai daya dukung ($q_{ad} = 64,482 \text{ t/m}^2$), sehingga tanpa tiang pondasi, graving dock tersebut relatif stabil (aman) untuk beban tekan.

Nilai q_{ad} ini pada prinsipnya harus lebih besar dan sama dengan working load maximum. Apabila kurang mampu, maka dipikul sebagian oleh tiang-tiang pondasi dibawahnya.

Umumnya, penambahan tiang-tiang pondasi dibawah graving dock lebih disebabkan antisipasi terhadap gaya uplift ke atas, sebagaimana akan kami hitung dibawah ini.

5.8.4. KEMAMPUAN TIANG TERHADAP UPLIFT

- Uplift force = $\gamma_w \times h$
 $= 1,05 \text{ t/m}^3 \times 11,2\text{m} = 12,81 \text{ t/m}^2 \text{ (}\uparrow\text{)}$
- Gaya Perlawanan = Berat graving dock dalam kondisi kosong
 $= \frac{30940}{30 \times 130} = 7,93 \text{ t/m}^2 \text{ (}\downarrow\text{)}$
- Kelebihan uplift force yang akan dipikul oleh tiang-tiang pondasi dibawah graving dock = $12,81 \text{ t/m}^2 - 7,93 \text{ t/m}^2$

$$= 4,88 \text{ t/m}^2 (\uparrow)$$

- Jadi kebutuhan tiang pancang adalah $= 4,88 \text{ t/m}^2$
- Bila direncanakan jarak antar tiang $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, maka beban tarik yang harus dipikul per- tiang pondasi adalah :
 $= 4,88 \times 5 \times 5 = \mathbf{121,92}$ ton/tiang.

5.8.5. PERENCANAAN TIANG PANCANG

Dalam perencanaan graving dock ini belum ada test tanah yang dilakukan tepat pada lokasi graving dock rencana, sehingga untuk perencanaan tiang pancang struktur graving dock ini, dipakai data hasil test SPT pada titik BD1 di Dermaga Jamrud Pelabuhan Perak Surabaya.

Dari hasil SPT tampak bahwa lapisan tanah didominasi oleh lempung sangat lunak (very soft clay).

Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk Tabel dan korelasi grafis antara Q_L (daya dukung tanah maximum, ton) versus depth of pile (m), untuk variasi diameter tiang $\Phi 50 \text{ cm}$, diposisi titik-titik BD 1.

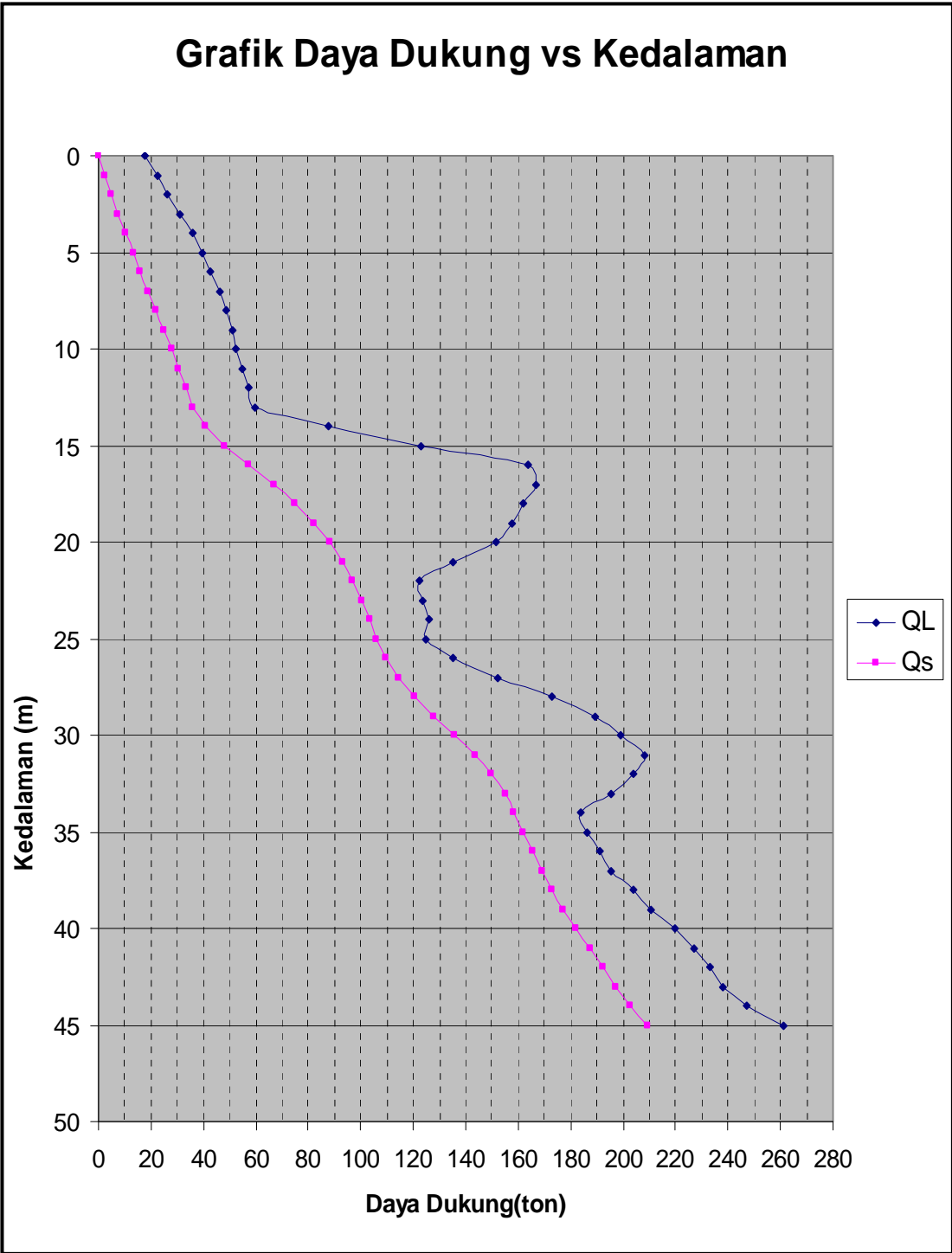
Untuk lebih jelasnya lihat Tabel 5.35, Gambar 5.28, Gambar 5.29, dan Gambar 5.30.

- Direncanakan memakai WIKA pile $\Phi 60 \text{ cm}$

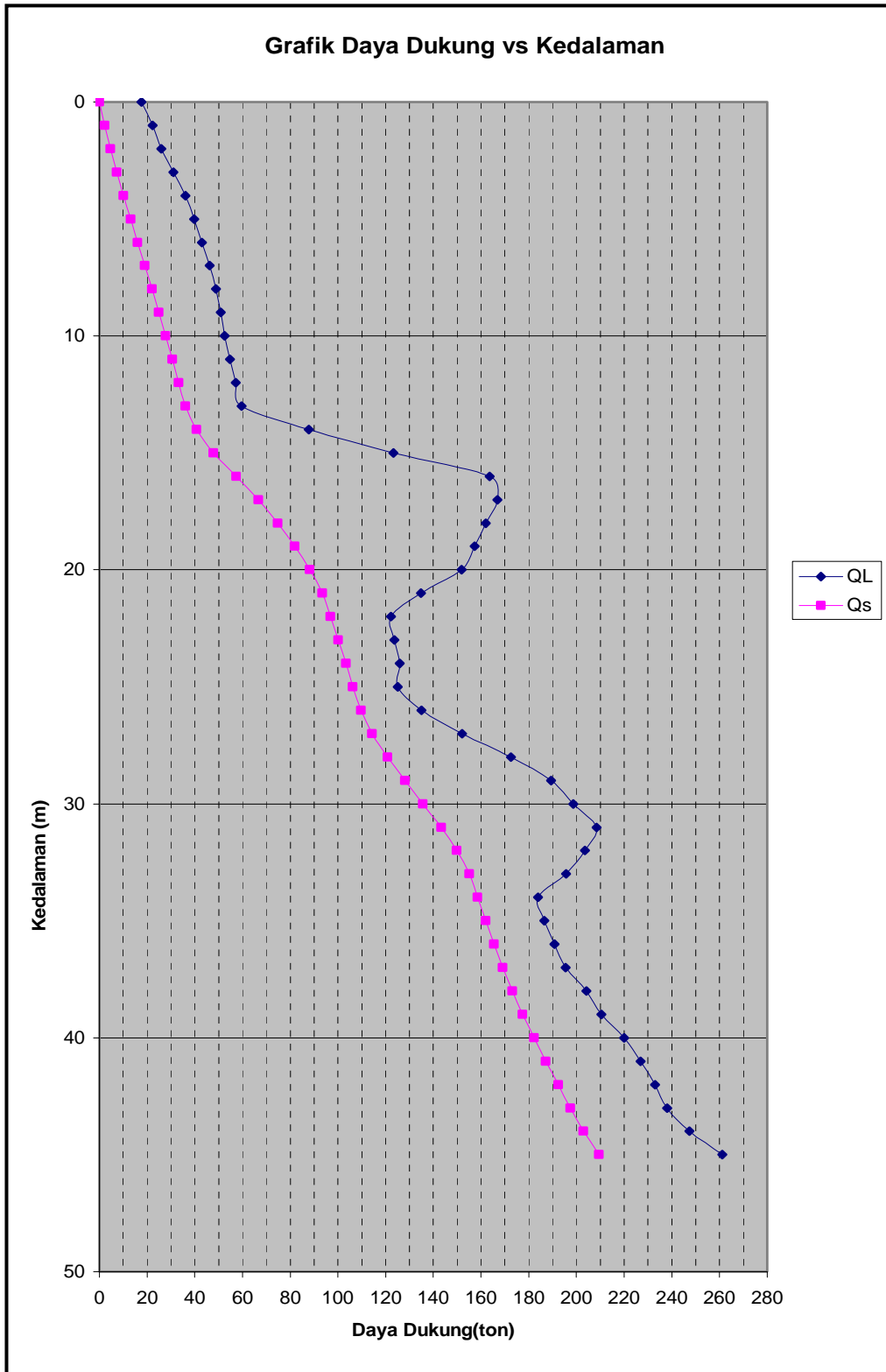
Tabel.5.35 Daya Dukung Tanah di Titik BD 1

	Depth	N	N'	K	Ap	Qp			Q _s	Q _L	Q _{ad}	Q _{ad tarik}	Q _L	Q _{ad tarik}	
m LWS	(m)					(ton)	As	Ns	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	dari dasar dock	dari dasar dock	
+	3,64	0	0,00	7,50	25	0,283	53,036	0	7,500	0,000	53,036	17,679	0,000	-	-
+	2,64	1	2,00	8,50	25	0,283	60,107	1,886	8,000	6,914	67,021	22,340	2,305	-	-
+	1,64	2	3,00	9,00	25	0,283	63,643	3,771	8,333	14,248	77,890	25,963	4,749	-	-
+	0,64	3	5,00	10,00	25	0,283	70,714	5,657	8,750	22,157	92,871	30,957	7,386	-	-
-	0,36	4	7,00	11,00	25	0,283	77,786	7,543	9,200	30,674	108,460	36,153	10,225	-	-
-	1,36	5	7,50	11,25	25	0,283	79,554	9,429	9,542	39,417	118,970	39,657	13,139	-	-
-	2,36	6	7,75	11,38	25	0,283	80,438	11,314	9,804	48,288	128,725	42,908	16,096	-	-
-	3,36	7	8,00	11,50	25	0,283	81,321	13,200	10,016	57,269	138,590	46,197	19,090	-	-
-	4,36	8	7,75	11,38	25	0,283	80,438	15,086	10,167	66,210	146,647	48,882	22,070	-	-
-	5,36	9	7,00	11,00	25	0,283	77,786	16,971	10,250	74,957	152,743	50,914	24,986	-	-
-	6,36	10	6,00	10,50	25	0,283	74,250	18,857	10,273	83,429	157,679	52,560	27,810	-	-
-	7,36	11	5,50	10,25	25	0,283	72,482	20,743	10,271	91,758	164,240	54,747	30,586	-	-
-	8,36	12	5,25	10,13	25	0,283	71,598	22,629	10,260	100,015	171,614	57,205	33,338	0,000	0,000
-	9,36	13	5,00	10,00	25	0,283	70,714	24,514	10,241	108,198	178,913	59,638	36,066	2,433	2,728
-	10,36	14	25,00	20,00	25	0,283	141,429	26,400	10,892	122,247	263,675	87,892	40,749	30,687	7,410
-	11,36	15	49,00	32,00	25	0,283	226,286	28,286	12,211	143,417	369,703	123,234	47,806	66,030	14,467
-	12,36	16	75,00	45,00	25	0,283	318,214	30,171	14,140	172,376	490,591	163,530	57,459	106,326	24,120
-	13,36	17	70,00	42,50	25	0,283	300,536	32,057	15,715	199,986	500,522	166,841	66,662	109,636	33,324
-	14,36	18	59,00	37,00	25	0,283	261,643	33,943	16,836	224,425	486,068	162,023	74,808	104,818	41,470
-	15,36	19	49,00	32,00	25	0,283	226,286	35,829	17,594	245,948	472,234	157,411	81,983	100,207	48,644
-	16,36	20	39,00	27,00	25	0,283	190,929	37,714	18,042	264,524	455,452	151,817	88,175	94,613	54,836
-	17,36	21	29,00	22,00	20	0,283	124,457	39,600	18,222	280,125	404,582	134,861	93,375	77,656	60,037

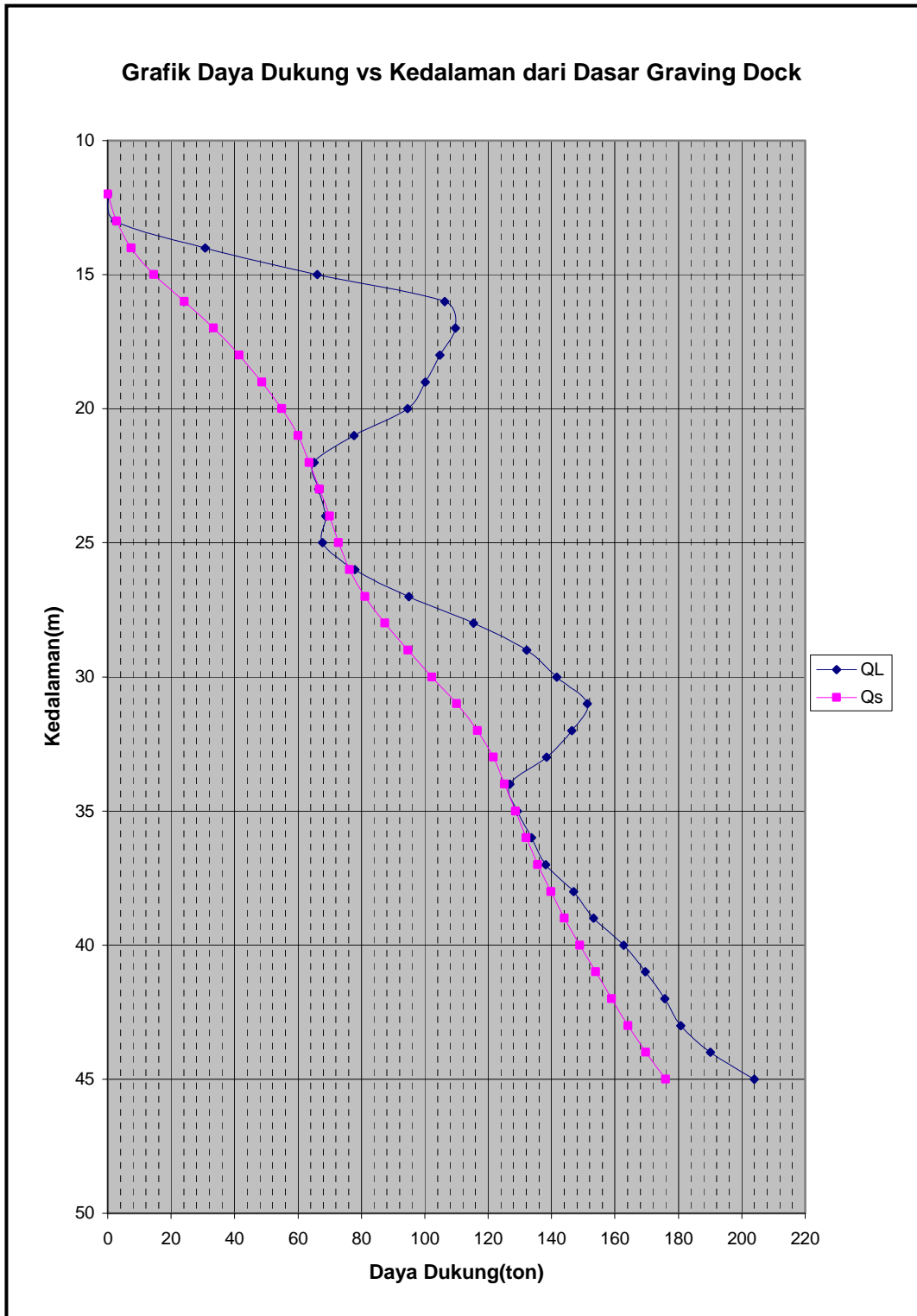
-	18,36	22	12,00	13,50	20	0,283	76,371	41,486	18,016	290,625	366,997	122,332	96,875	65,128	63,537
-	19,36	23	10,00	12,50	20	0,283	70,714	43,371	17,786	300,513	371,227	123,742	100,171	66,538	66,832
-	20,36	24	9,00	12,00	20	0,283	67,886	45,257	17,555	310,087	377,973	125,991	103,362	68,786	70,024
-	21,36	25	5,00	10,00	20	0,283	56,571	47,143	17,264	318,441	375,012	125,004	106,147	67,800	72,809
-	22,36	26	12,00	13,50	20	0,283	76,371	49,029	17,125	328,900	405,271	135,090	109,633	77,886	76,295
-	23,36	27	25,00	20,00	20	0,283	113,143	50,914	17,228	343,293	456,435	152,145	114,431	94,941	81,092
-	24,36	28	40,00	27,50	20	0,283	155,571	52,800	17,582	362,241	517,813	172,604	120,747	115,400	87,409
-	25,36	29	50,00	32,50	20	0,283	183,857	54,686	18,079	384,243	568,100	189,367	128,081	132,162	94,743
-	26,36	30	52,00	33,50	20	0,283	189,514	56,571	18,577	406,873	596,388	198,796	135,624	141,591	102,286
-	27,36	31	54,00	34,50	20	0,283	195,171	58,457	19,074	430,132	625,303	208,434	143,377	151,230	110,039
-	28,36	32	42,00	28,50	20	0,283	161,229	60,343	19,360	449,752	610,981	203,660	149,917	146,456	116,579
-	29,36	33	28,00	21,50	20	0,283	121,629	62,229	19,423	465,113	586,741	195,580	155,038	138,376	121,699
-	30,36	34	12,00	13,50	20	0,283	76,371	64,114	19,254	475,591	551,962	183,987	158,530	126,783	125,192
-	31,36	35	11,00	13,00	20	0,283	73,543	66,000	19,080	485,757	559,300	186,433	161,919	129,229	128,581
-	32,36	36	12,00	13,50	20	0,283	76,371	67,886	18,929	496,223	572,595	190,865	165,408	133,660	132,069
-	33,36	37	13,00	14,00	20	0,283	79,200	69,771	18,799	506,990	586,190	195,397	168,997	138,192	135,658
-	34,36	38	18,00	16,50	20	0,283	93,343	71,657	18,740	519,285	612,627	204,209	173,095	147,005	139,756
-	35,36	39	20,00	17,50	20	0,283	99,000	73,543	18,709	532,190	631,190	210,397	177,397	153,192	144,058
-	36,36	40	25,00	20,00	20	0,283	113,143	75,429	18,741	546,627	659,770	219,923	182,209	162,719	148,871
-	37,36	41	27,00	21,00	20	0,283	118,800	77,314	18,795	561,679	680,479	226,826	187,226	169,622	153,888
-	38,36	42	28,00	21,50	20	0,283	121,629	79,200	18,858	577,040	698,668	232,889	192,347	175,685	159,008
-	39,36	43	28,00	21,50	20	0,283	121,629	81,086	18,918	592,402	714,030	238,010	197,467	180,806	164,129
-	40,36	44	32,00	23,50	20	0,283	132,943	82,971	19,019	608,995	741,938	247,313	202,998	190,108	169,660
-	41,36	45	40,00	27,50	20	0,283	155,571	84,857	19,204	628,050	783,622	261,207	209,350	204,003	176,012



Gambar 5.28. Grafik Daya Dukung Pondasi (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1

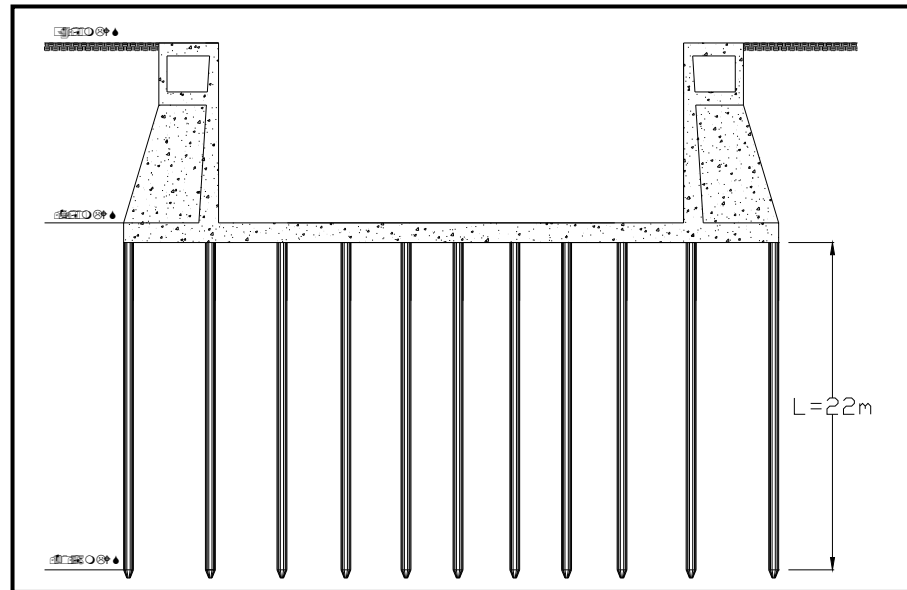


Gambar 5.29. Grafik Daya Dukung Pondasi (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1.



Gambar 5.30. Grafik Daya Dukung Pondasi dari Dasar Graving Dock (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1.

- Dengan memakai kurva Daya Dukung (Q_{ad}) versus depth (m) terlampir, didapat kedalaman tiang pancang adalah -30,36 mLWS dan panjang tiang (L) dari dasar graving dock adalah $34 - 12 \text{ m} = 22 \text{ m}$. (Lihat Gambar 5.28.).



Gambar 5.31. Panjang tiang pancang

5.8.6. MOMEN LATERAL DAN AXIAL LOAD

Dari hasil analisa SAP200 diperoleh Pmax dan Momen maksimum yang bekerja pada tiang pancang yang disajikan pada Tabel 5.34

Tabel 5.36. Hasil Analisa SAP pada Tiang Pancang :

Frame	OutputCase	CaseType	P	V2	T	M3
Text	Text	Text	Ton	Ton	Ton-m	Ton-m
41	COMB4	Combination	-144,8891	-1,377E-10	-3,1E-12	-1,5E-09
41	COMB4	Combination	-149,2484	-1,377E-10	-3,1E-12	4,85E-13
41	COMB4	Combination	-153,6077	-1,377E-10	-3,1E-12	1,51E-09
41	COMB5	Combination	207,8187	-1,043E-12	1,821E-13	-1,1E-11
41	COMB5	Combination	203,45937	-1,043E-12	1,821E-13	-6,9E-16
41	COMB5	Combination	199,10004	-1,043E-12	1,821E-13	1,15E-11
41	COMB6	Combination	-171,0525	-1,376E-10	-3,11E-12	-1,5E-09
41	COMB6	Combination	-175,4118	-1,376E-10	-3,11E-12	4,86E-13
41	COMB6	Combination	-179,7711	-1,376E-10	-3,11E-12	1,51E-09
41	COMB7	Combination	-86,63903	1,029E-10	2,13E-12	1,13E-09

41	COMB7	Combination	-90,99836	1,029E-10	2,13E-12	-3,4E-13
41	COMB7	Combination	-95,35768	1,029E-10	2,13E-12	-1,1E-09
127	COMB4	Combination	-9,110431	0,3232829	0,0004926	4,768498
127	COMB4	Combination	-13,46976	0,3232829	0,0004926	1,212386
127	COMB4	Combination	-17,82909	0,3232829	0,0004926	-2,34373
127	COMB5	Combination	19,510706	-0,1129597	-0,000117	-1,6588
127	COMB5	Combination	15,151379	-0,1129597	-0,000117	-0,41624
127	COMB5	Combination	10,792052	-0,1129597	-0,000117	0,826317
127	COMB6	Combination	-6,51407	0,3366329	0,0004804	4,964536
127	COMB6	Combination	-10,8734	0,3366329	0,0004804	1,261574
127	COMB6	Combination	-15,23272	0,3366329	0,0004804	-2,44139
127	COMB7	Combination	-76,95152	-0,0264849	-0,000215	-0,4053
127	COMB7	Combination	-81,31085	-0,0264849	-0,000215	-0,11396
127	COMB7	Combination	-85,67018	-0,0264849	-0,000215	0,177371

Dari Tabel Hasil Analisa SAP pada Tiang Pancang diatas, diperoleh :

$P_{max} = 207,8180 \text{ ton (Combo 5)} < P(\text{Wika Pile}) = 235 \text{ ton (Ok!)}.$

$M_{max} = 7,5440 \text{ ton (Combo 6)} < M(\text{Wika Pile}) = 17 \text{ ton (Ok!)}.$

5.8.7. KALENDERING

Pada saat pelaksanaan dilapangan, kecukupan pemancangan/ pemancangan tiang pancang akan dihentikan dengan melihat nilai S atau penetrasi/blow. Apabila $S > S'$ untuk kedalaman yang sama maka pemancangan dapat dihentikan, dimana :

S : nilai penetrasi / blow rencana dari perhitungan

S' : nilai penetrasi / blow saat pemancangan.

Alat pancang yang digunakan adalah **ICE Model 160 hydraulic impact hammer** dengan spesifikasi dan gambar sebagai berikut :

Tabel 5.37. Spesifikasi Hydraulic hammer

Model 160 Hammer	USA Units	SI Units
Ram weight	16,000 lbs	7260 kg
Maximum stroke	4 ft	1.2 m
Rated energy at max. stroke	64,000 ft-lbs	85.8 kJ
Blow rate at max. stroke	40 bpm	40 bpm
Minimum stroke	1 ft 6 in	0.3 m
Rated energy at min. stroke	24,000 ft-lbs	32.5 kJ
Blow rate at min. stroke	60 bpm	60 bpm
Hammer weight ¹	28,600 lbs	12,973 kg
Hoses weight	2,010 lbs	914 kg
Complete operating weight with	34,995 lbs	14,970 kg

cap ²		
Length (hammer only)	21 ft	6400 kg
Complete operating length with cap ²	23 ft 8 in	7010 kg
Width	32 in	813 mm
Depth	41.5 in	1054 mm
Hydraulic hose length	100 ft	30 m



Gambar 5.32.ICE Model 275 hydraulic impact hammer

Dengan menggunakan alat pancang **ICE Model 275 hydraulic impact hammer**, maka setting untuk tiang pancang dermaga adalah sebagai berikut.

Perumusan yang dipergunakan adalah **formula dari Hiley** sebagai berikut :

$$Qu = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + \frac{c}{2}} \times \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p}$$

dimana :

- Q_u = Daya Dukung Ultimate (Ton)
 = $132.674 \times (SF = 3) = 398.022 \text{ ton}$
 W = Berat Pemukul = 7.26 ton
 H = 1.2 m = 1200 mm
 S = Penurunan tiang rata-rata pada 3 set terakhir dengan 10 pukulan di setiap setnya (cm).
 α = efisiensi of hydraulic hammer = 1.5
 n = coefficient of restitution, 0.25 concrete pile and 0.55 for steel pile
 W_p = weight of pile
 C = Total temporary compression ($C_1 + C_2 + C_3$) = 17.04 mm
 C_1 = Temporary compression of cushion (pile head & cap) = 2.54 mm
 C_2 = Temporary compression of pile = 12 mm
 C_3 = Temporary compression of soil = 2.5 mm

Perhitungan :

- Berat tiang pancang beton $\varnothing 60 \text{ cm}$, $t = 10 \text{ cm}$

W_p = berat satu tiang pancang beton ($L = 22 \text{ m}$)

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times (0.6^2 - 0.5^2) \times 22 \times 2400 = 4559,28 \text{ kg}$$

- Perhitungan final set

$$Q_u = \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + \frac{c}{2}} \times \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p}$$

$$S = \left(\frac{\alpha \cdot W \cdot H}{Q_u} \times \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \right) - \frac{c}{2}$$

$$= \left(\frac{1,5 \times 7,26 \times 1200}{375,576} \times \frac{7,26 + (0,25)^2 \times 4,55928}{7,26 + 4,55928} \right) - \frac{17,04}{2}$$

$$= 22,211 - 8,52$$

$$= 13,691 \text{ mm} = 1,369 \text{ cm} \approx 1,5 \text{ cm}$$

Jadi Final set (S) tiang pancang dermaga untuk satu pukulan adalah 1,5 cm. Sehingga dalam 1 set (10 pukulan) penetrasi yang diijinkan adalah 1,5 cm dan pemancangan harus dihentikan apabila dalam 3 set terakhir penetrasi yang terjadi adalah $\leq 1,5$ cm/ 10 pukulan.

5.9. PERHITUNGAN STABILITAS PINTU

Untuk perhitungan stabilitas pintu di hitung dengan berdasarkan hukum Archimedes. Yaitu apabila benda diletakkan pada zat cair, maka benda tersebut akan tenggelam, melayang atau mengapung pada zat cair. Hukum Archimedes menyatakan bahwa benda yang terapung dalam zat cair akan mengalami gaya apung yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan benda tersebut. Dengan kata lain apabila benda terendam atau terapung didalam zat cair, resultan gaya yang bekerja padanya adalah sama dengan perbedaan antara tekanan ke atas oleh zat cair pada benda dan gaya ke bawah karena berat benda.

Jadi untuk menghitung stabilitas pintu tersebut perlu diketahui berat struktur pintu itu sendiri dan berat volume air laut yang dipindahkan akibat berat struktur pintu tersebut.

Direncanakan dimensi pintu :

1. panjang : 21 m
2. lebar : 3 m

untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran gambar.

5.9.1. BERAT PINTU

Berat pintu dibagi menjadi dua unsur penting yaitu :

- Berat pelat baja
- Berat rangka

1. Berat pelat baja.

Tebal pelat baja direncanakan 3 mm.

Perhitungan volume pelat baja dapat dilihat pada Tabel 5.36

Tabel 5.38. Perhitungan Volume Pelat Baja

	L(m)	H (m)	JML	LUAS (m2)	TEBAL (m)	VOLUME (m3)
1,1	26,484442	10,938471	2	579,3986015	0,03	17,38195805
1,2	0,6	10,938471	2	13,1261652	0,03	0,393784956
	0,6	26,484442	1	15,8906652	0,03	0,476719956
1,3	26,484442	10,938471	1	71,1	0,03	2,133
						20,39

Diketahui V total = 20.39 m³

Berat pelat baja = $\rho * g * V$

Berat pelat bsjs = 7850 * 9.81 * 20.39 m³

Berat pelat bsjs = 1569854 N

2. Berat rangka.

Rangka direncanakan :

	a.	30.30.5
	b.	60.60.6
	c.	60.60.6

Berat rangka = $\rho * g * V$

Berat Tipe L(30.30.5) = 144.534 Kg

Berat Tipe L(2*60.60.6) = 3113.3664 Kg

Berat Tipe L(60.60.6) = 144.534 Kg

Berat rangka = 2983.6930 Kg +

Berat rangka = 2983.6390 x 9,81

= 29270.0240 N

Berat Total = berat pelat baja + berat rangka

= 1569854 N + 29270.0240 N

= 1599123,95 N = 1599,12395 kN

5.9.2. Berat Air Yang Dipindahkan

Berat air yang dipindahkan adalah sebesar $\rho * g * V$.

Direncanakan pintu tenggelam setinggi 5 m.

$V \text{ total} = \text{Amelintang} \times L$

$$= 9,8207 \text{ m}^2 \times 25\text{m} = 245.52 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat air} = 1000 * 9.81 * 245,52 = 2408526.7 \text{ N}$$

Agar terapung maka

$$FB = FG$$

Dimana : $FG = \text{Berat benda}$

$FB = \text{Berat air yang dipindahkan}$

$$FG = FB - FG'$$

$$= 2408.526 \text{ kN} - 1599.1239 \text{ kN}$$

$$= 809.4021 \text{ kN}$$

$$VG' = FG' / \rho * g$$

$$VG' = 809.4021 / (1000 * 9.81) = 0.082 \text{ m}^3$$

Karena $FB > FG$ maka agar pintu dapat mengapung seperti yang diinginkan pintu harus diisi air setinggi 0.23 m. Atau bisa diabaikan.

Gambar 5.1.	Lay Out Graving Dock.....	80
Gambar 5.2.	Detil A.....	81
Gambar 5.3.	Potongan Melintang Graving Dock (Potongan A-A).....	82
Gambar 5.4.	Potongan Memanjang Graving Dock (Potongan B-B)	82
Gambar 5.5.	Elevasi Graving Dock	84
Gambar 5.6.	Dimensi Rencana Bangunan Atas.....	87
Gambar 5.7.	Grafik Korelasi Dr vs SPT (Terzaghi dan Peck).....	88
Gambar 5.8.	Parameter tanah graving dock.....	89
Gambar 5.9.	Diagram Tegangan pada Graving Dock.....	94
Gambar 5.10.	Kondisi saat air di dalam dock penuh.	97
Gambar 5.11.	Kondisi saat dock dalam keadaan kosong.....	97
Gambar 5.12.	Beban Terpusat Keel dan Bilge Block.....	99
Gambar 5.13.	Pembagian Sisi Plat Box Culvert	104
Gambar 5.14.	Beban Lateral Pada Box Culvert.....	105
Gambar 5.15.	Dimensi Balok.....	127
Gambar 5.16.	Gaya Geser Balok Melintang	132
Gambar 5.17.	Gaya Geser Balok Memanjang	139
Gambar 5.18.	Gaya Geser Balok Tegak.	145
Gambar 5.19.	Dimensi Dinding.	149
Gambar 5.20.	Gaya Geser Counterfort Kedalaman 3,8m.....	167
Gambar 5.21.	Gaya Geser Counterfort Kedalaman 7m.....	173
Gambar 5.22.	Gaya Geser Counterfort Kedalaman 9m.....	179
Gambar 5.23.	Gaya Geser Counterfort Kedalaman 11m.....	185
Gambar 5.24.	Prosentase pembebanan akibat kapal pada lantai dock.....	189
Gambar 5.25.	Beban kapal pada lantai dock.....	190
Gambar 5.26.	Gaya – Gaya yang bekerja pada dinding graving dock.....	198
Gambar 5.27.	Bearing Capacity Tanpa Tiang Pondasi.....	204
Gambar 5.28.	Grafik Daya Dukung Pondasi (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1	209
Gambar 5.29.	Grafik Daya Dukung Pondasi (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1.	210
Gambar 5.30.	Grafik Daya Dukung Pondasi dari Dasar Graving Dock (SF=3) vs Kedalaman di Titik BD1.	211
Gambar 5.31.	Panjang tiang pancang.....	212
Gambar 5.32.	ICE Model 275 hydraulic impact hammer.....	214

Tabel 5.1.	SPT Cohesionless (J.E. BOWLES, 1984).....	88
Tabel 5.2.	Parameter tanah di lokasi graving dock rencana.....	89
Tabel 5.3.	Beberapa harga E dan μ	90
Tabel 5.4.	Koefisien Bentuk Pondasi	91
Tabel 5.5.	Harga Angka Pori, Kadar Air, Berat Volume Kering untuk Beberapa Jenis Tanah.....	92
Tabel 5.6.	Distribusi Gaya Geser Akibat Gempa per Dinding Counterfort Arah x 101	
Tabel 5.7.	\Distribusi Gaya Geser Akibat Gempa per Dinding Counterfort Arah y 101	
Tabel 5.8.	Distribusi beban pada box culvert.....	107
Tabel 5.9.	Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi atas (SAP2000) :.....	108
Tabel 5.10.	Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi bawah (SAP2000) :.....	111
Tabel 5.11.	Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi luar (SAP2000):.....	114
Tabel 5.12.	Gaya maksimum yang terjadi pada plat box culvert sisi dalam(SAP2000) :.....	117
Tabel 5.13.	Tabel Penulangan Plat Box Culvert	121
Tabel 5.14.	Tabel Penulangan Balok Box Culvert.....	122
Tabel 5.15.	Distribusi beban plat pada balok akibat beban mati.....	126
Tabel 5.16.	Distribusi beban plat pada balok akibat beban hidup.....	126
Tabel 5.17.	Gaya maksimum yang terjadi pada balok melintang (SAP2000). .	128
Tabel 5.18.	Gaya maksimum yang terjadi pada balok memanjang (SAP2000):	135
Tabel 5.19.	Gaya maksimum yang terjadi pada balok tegak (SAP2000) :	141
Tabel 5.20.	Penulangan Lentur Balok Box Culvert.	148
Tabel 5.21.	Gaya Maksimum yang Bekerja pada Struktur Dinding	150
Tabel 5.22.	Penulangan Lentur Dinding.	161
Tabel 5.23.	Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 3,8 m (SAP 2000).....	163
Tabel 5.24.	Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 7 m (SAP 2000).	169
Tabel 5.25.	Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 9 m (SAP 2000).	175
Tabel 5.26.	Gaya Maksimum yang Bekerja pada Counterfort kedalaman 11 m (SAP 2000).	181
Tabel 5.27.	Tabel Penulangan Lentur Counterfort.....	188
Tabel 5.28.	Gaya Maksimum Yang Bekerja Pada Struktur Lantai	193
Tabel 5.29.	Tabel Penulangan Lantai.....	196
Tabel 5.30.	Gaya –gaya yang bekerja pada dinding per-5m panjang	200
Tabel 5.31.	Kontrol Geser.....	201
Tabel 5.32.	Momen terhadap titik O	201
Tabel 5.33.	Kontrol Guling.	202
Tabel 5.34.	Harga koefisien N , N_c , N_q	204

Tabel.5.35	Daya Dukung Tanah di Titik BD 1	207
Tabel 5.36.	Hasil Analisa SAP pada Tiang Pancang :	212
Tabel 5.37.	Spesifikasi Hydraulic hammer	213
Tabel 5.38.	Perhitungan Volume Pelat Baja	217

Perencanaan Detil Struktur Graving Dock di Kawasan V-224
Pangkalan
TNI-AL di kecamatan Semampir Kota Surabaya

Perencanaan Detil Struktur Graving Dock di Kawasan V-225
Pangkalan
TNI-AL di kecamatan Semampir Kota Surabaya

Perencanaan Detil Struktur Graving Dock di Kawasan V-226
Pangkalan
TNI-AL di kecamatan Semampir Kota Surabaya

BAB VI

PERENCANAAN TEMPORARY SHEETPILE DAN DEWATERING

6.1. UMUM

Sheetpile merupakan unsur yang paling penting dalam pelaksanaan pekerjaan penggalian. Sheetpile berfungsi sebagai penahan tekanan horizontal yang disebabkan oleh tanah dan air. sheetpile juga berfungsi sebagai penahan terhadap longsoran tanah pada saat penggalian berlangsung. Mengingat kondisi tanah yang sebagian besar berupa lempung (clay), pada perencanaan graving dock ini direncanakan memakai sheetpile baja, karena :

1. Sheetpile baja bisa digunakan pada kondisi jenis tanah apa saja.
2. Tahan terhadap tegangan pemancangan yang tinggi dan berkambang pada bahan yang keras atau berbatu.
3. Mempunyai berat yang relatif ringan.
4. Panjang sheetpile cukup panjang dan dapat dicabut untuk dipakai pada pelaksanaan konstruksi lain.
5. Mudah menambah panjang sheetpile, baik dengan pengelasan atau dengan pemasangan baut.
6. Sheetpile baja paling sesuai untuk dipakai dalam kondisi lapangan tempat graving dock dibangun.

6.2. PERHITUNGAN SHEET PILE

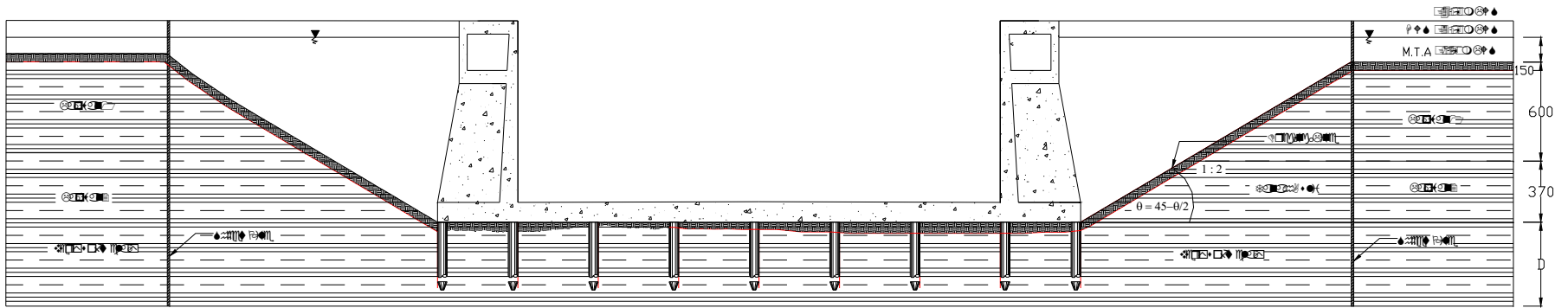
Untuk menghitung sheetpile digunakan persamaan rumus mengenai tekanan tanah ke samping dengan menggunakan data-data yang telah ada. Sket Gambar 6.1 dibawah menunjukkan kondisi tanah penggalian di lapangan dan sheetpile yang akan dipasang.

6.2.1. Data Tanah

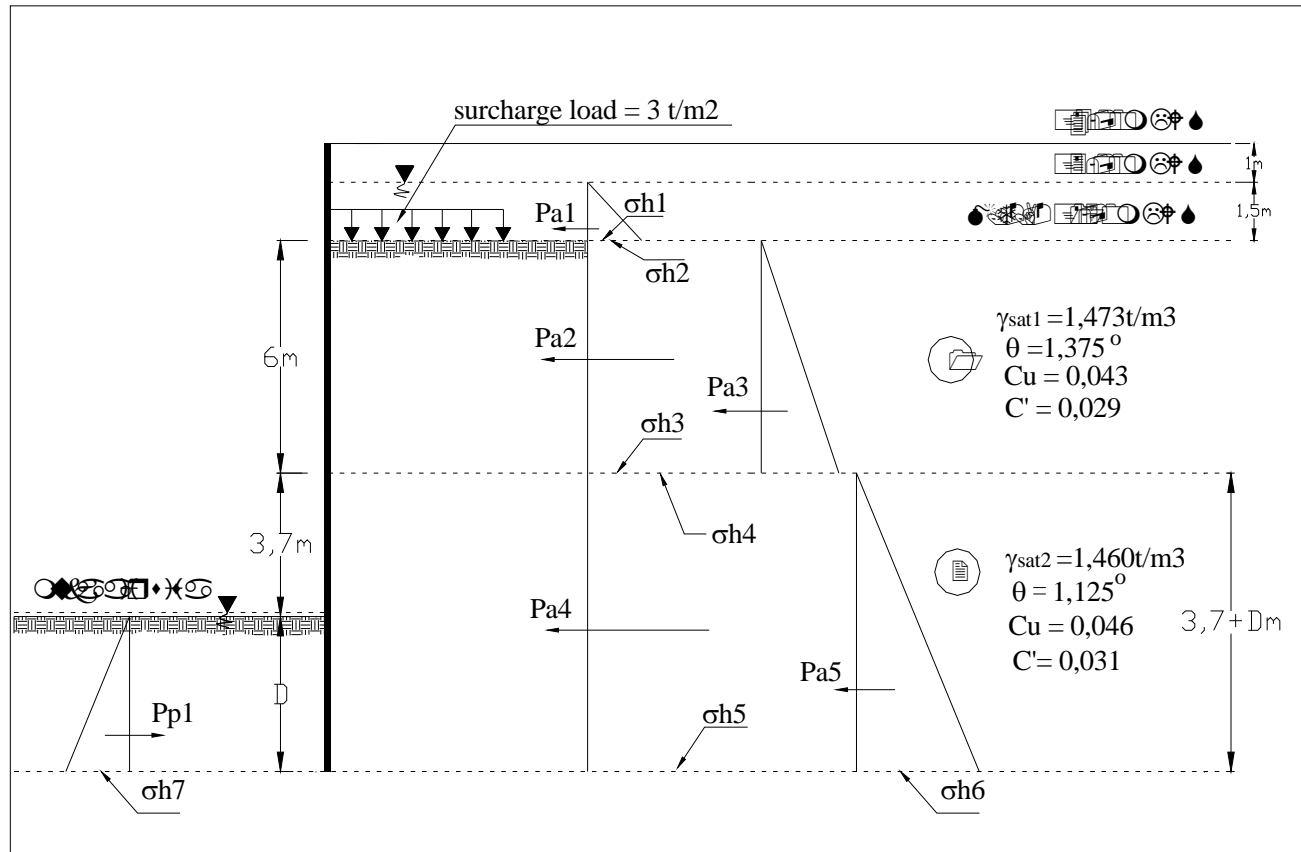
Dalam perhitungan sheetpile, data tanah yang digunakan adalah data tanah asli, karena pemakaian sheetpile adalah pada saat awal pekerjaan graving dock, yaitu pengerukan dan cofferdam. Data lapisan tanah asli/ tanah dasar pada lokasi proyek graving dock dapat dilihat pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Parameter Tanah Dasar di Lokasi Graving Dock

Jenis Tanah	γ_{sat}	w	C	$\Phi(^{\circ})$	Gs	eo	Cc	Cv	Ka = $\tan^2(45-\theta/2)$	Kp = $\tan^2(45+\theta/2)$
	(t/m ³)	(%)								
Lapisan1	1,47	77,11	0,043	1,375	2,625	2,134	0,572	0,000564	0,953	1,049
Lapisan2	1,46	78,17	0,031	1,125	2,637	2,04	0,606	0,000459	0,962	1,040



Gambar 6.1. Kondisi Pemasangan Sheetpile Di Lapangan



Gambar 6. 2. Diagram Tekanan Tanah yang Bekerja pada Sheetpile.

6.2.2. Perhitungan Tegangan Tanah

$$\begin{aligned}\sigma_{h1} &= \gamma_w \times K_{a_w} \times 1,5 \\ &= 1,05 \times 1 \times 1,5 \\ &= 1,575 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h2} = \sigma_{h3} &= (\gamma_w \times K_{a_{\gamma 1}} \times 1,5) + (q \times K_{a_{\gamma 1}}) \\ &= (1,05 \times 0,953 \times 1,5) + (3 \times 0,953) \\ &= 4,36 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h4} = \sigma_{h5} &= (\gamma_w \times K_{a_{\gamma 2}} \times 1,5) + (q \times K_{a_{\gamma 2}}) + (\gamma_{sat1} \times K_{a_{\gamma 2}} \times 6) \\ &= (1,05 \times 0,962 \times 1,5) + (3 \times 0,962) + (1,473 \times 0,962 \times 6) \\ &= 12,903 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h6} &= (\gamma_w \times K_{a_{\gamma 2}} \times 1,5) + (q \times K_{a_{\gamma 2}}) + (\gamma_{sat1} \times K_{a_{\gamma 2}} \times 6) + (\gamma_{sat2} \times K_{a_{\gamma 2}} \times (3,7+D)) \\ &= (1,05 \times 0,962 \times 1,5) + (3 \times 0,962) + (1,473 \times 0,962 \times 6) \\ &\quad + (1,46 \times 0,962 \times (3,7+D)) \\ &= 18,1 + 1,404D\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{h7} &= \gamma_{sat2} \times K_{p_{\gamma 2}} \times D \\ &= 1,46 \times 1,040 \times D \\ &= 1,518D\end{aligned}$$

6.2.3. Perhitungan Tekanan Tanah

$$\begin{aligned}Pa_1 &= 0,5 \times \sigma_{h1} \times 1,5 \\ &= 0,5 \times 1,575 \times 1,5 \\ &= 1,181 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_2 &= \sigma_{h2} \times 6 \\ &= 4,36 \times 6 \\ &= 26,16 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pa_3 &= 0,5 \times \gamma_{sat1} \times K_{a_{\gamma 1}} \times 6 \times 6 \\ &= 0,5 \times 1,473 \times 0,953 \times 6 \times 6 \\ &= 25,268 \text{ t/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_4 &= \sigma_{h4} \times (3,7+D) \\
 &= 12,903 (3,7+D) \\
 &= 47,741 + 12,903D
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pa_5 &= 0,5 \times \gamma_{sat2} \times Ka_{\gamma2} \times (3,7+D) \times (3,7+D) \\
 &= 0,5 \times 1,460 \times 0,962 \times (3,7+D) \times (3,7+D) \\
 &= 0,702 (13,69 + 12,4D+D^2) \\
 &= 9,61 + 8,705D + 0,702D^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pp_1 &= 0,5 \times \sigma_{h7} \\
 &= 0,5 \times 1,518D \times D \\
 &= 0,759D^2 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\Sigma Pa = 109,96 + 21,608D + 0,702D^2$$

$$\Sigma Pp = 0,759D^2$$

Panjang pembenaman dapat dihitung dengan :

$$\Sigma H = 0$$

$$\Sigma Pp = \Sigma Pa$$

$$0,759D^2 = 109,96 + 21,608D + 0,702D^2$$

$$0,759D^2 - 109,96 - 21,608D - 0,702D^2 = 0$$

$$0,057D^2 - 21,608D - 109,96 = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh : $D = 5,022 \text{ m}$

Untuk faktor keamanan digunakan $SF = 1,2$ maka :

$$D = 1,2 \times 5,022 = 6,026 \text{ m} \approx \text{diambil } \mathbf{D = 6,5m.}$$

Panjang pembenaman sheetpile minimum = 6,5m.

Sehingga panjang total sheetpile (dari muka tanah asli) = 9,7m + 6,5m = 16,2 m \approx 17 m.

6.2.3. Perhitungan Momen Yang Bekerja Pada Sheet Pile

Dalam menentukan pemilihan type temporary sheetpile yang tepat, maka perlu dihitung terlebih dahulu besarnya momen yang nantinya harus dipikul oleh sheetpile. Dengan demikian sheetpile yang nantinya beban lateral yang bekerja dalam proyek graving dock TNI-AL ini mampu dipikul oleh temporary sheetpile. Perhitungan besarnya momen yang bekerja pada temporary sheetpile disajikan dalam Tabel. (Lihat Tabel 6.1).

Tabel 6.2.. Momen Yang Bekerja pada Sheetpile

Gaya	P (ton)	Panjang Lengan (m)	M thd titik O (t.m)
\times Pa ₁	1,181	10,2+D	12,046 + 1,181D
Pa ₂	26,16	6,7+D	175,272 + 26,16D
= Pa ₃	25,268	5,7+D	144,028 + 25,268D
Pa ₄	47,741+12,903D	1,85D	88,321D + 23,870D ²
β Pa ₅	9,61+8,705D+0,702D ²	1,23D	11,82D + 10,707D ² + 0,863D ³
Pp ₁	0,759D ²	(-0,33D)	(-0,25D ³)
β	TOTAL		331,346 + 152,75D + 34,557D ² + 0,613D ³

$$1,346 + 152,75D + 34,557D^2 + 0,613D^3$$

$$\frac{\delta M_x}{\delta x} = 152,75 + 69,154D + 1,839D^2$$

$$\frac{\delta M_x}{\delta x} = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh : D = 2,356 m

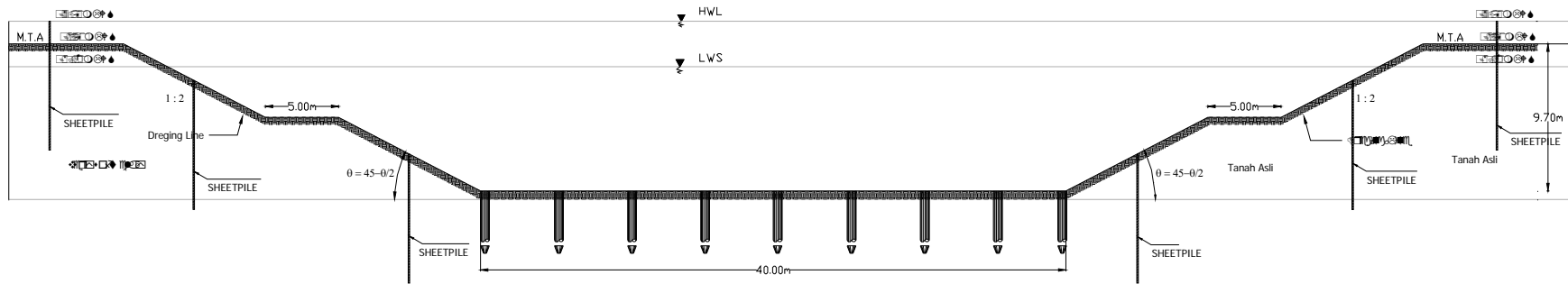
Sehingga :

$$M_{max} = 331,346 + 152,75(2,356) + 34,557(2,356)^2 + 0,613(2,356)^3$$

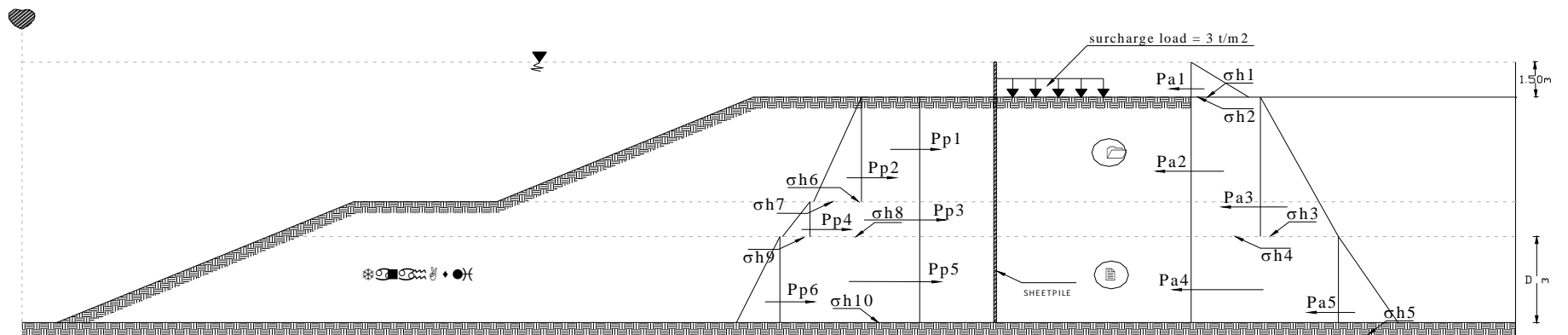
$$M_{max} = 884,421 \text{ t.m}$$

Karena momen yang terjadi begitu besar, sehingga tidak ada type sheetpile yang memadai, maka dilakukan pemilihan alternatif lain dalam pemasangan sheetpile. Pemasangan sheetpile dilakukan tiap tahapan pengerukan.

Untuk Lebih jelasnya lihat Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Alternatif Lain Kondisi Pengerukan Graving Dock



Gambar 6.4. Diagram Tekanan Tanah pada Sheetpile

Besarnya gaya yang bekerja pada sheetpile dapat dilihat pada Gambar 6.5. di bawah ini

$$\begin{aligned} P_{a1} &= 0,5 \times (\gamma_w \times K_{a_w} \times 1,5) \times 1,5 \\ &= 0,5 \times (1,05 \times 1 \times 1,5) \times 1,5 \\ &= 1,181 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a2} &= (q \times K_{a_{\gamma 1}} + \gamma_w \times K_{a_w} \times 1,5) \times 6 \\ &= (3 \times 0,953 + 1,05 \times 1 \times 1,5) \times 6 \\ &= 26,16 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a3} &= 0,5 \times (\gamma_{sat1} \times K_{a_{\gamma 1}} \times 6) \times 6 \\ &= 0,5 \times (1,473 \times 0,953 \times 6) \times 6 \\ &= 25,268 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a4} &= (q \times K_{a_{\gamma 2}} \times 1,5 + \gamma_w \times K_{a_{\gamma 2}} + \gamma_{sat1} \times K_{a_{\gamma 1}} \times 6) \times D \\ &= (3 \times 0,962 \times 1,5 + 1,05 \times 0,962 \times 1,5 + 1,473 \times 0,692 \times 6) \times D \\ &= 12,903 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{a5} &= 0,5 \times (\gamma_{sat2} \times K_{a_{\gamma 2}} \times D) \times D \\ &= 0,5 \times (1,460 \times 0,962 \times D) \times D \\ &= 0,702 D^2 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{p1} &= q \times K_{p_{\gamma 1}} \times 5 \\ &= 3 \times 1,049 \times 5 \\ &= 15,735 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{p2} &= 0,5 \times (\gamma_{sat1} \times K_{p_{\gamma 1}} \times 5) \times 5 \\ &= 0,5 \times (1,473 \times 1,049 \times 5) \times 5 \\ &= 19,577 D^2 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{p3} &= (q \times K_{p_{\gamma 2}} + \gamma_{sat1} \times K_{p_{\gamma 2}} \times 5) \times 1 \\ &= (3 \times 1,049 + 1,473 \times 1,049 \times 5) \times 1 \\ &= 10,846 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{p4} &= 0,5 \times (\gamma_{sat1} \times K_{p_{\gamma 1}} \times 1) \times 1 \\ &= 0,5 \times (1,473 \times 1,049 \times 1) \times 1 \\ &= 0,772 D^2 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{p5} &= (q \times K_{p\gamma 1} + \gamma_{\text{sat}1} \times K_{p\gamma 2} \times 5 + \gamma_{\text{sat}1} \times K_{p\gamma 2} \times 1) \times D \\
&= (3 \times 1,04 + 1,473 \times 1,049 + 1,473 \times 1,04 \times 1) \times D \\
&= 6,184 \text{ t/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{p6} &= 0,5 \times (\gamma_{\text{sat}2} \times K_{p\gamma 2} \times D) \times D \\
&= 0,5 \times (1,460 \times 1,040 \times D) \times D \\
&= 0,759 D^2 \text{ t/m}
\end{aligned}$$

$$\Sigma P_a = 52,609 + 13,903D + 0,702D^2$$

$$\Sigma P_p = 46,93 + 6,184D + 0,759D^2$$

$$\Sigma H = 0$$

$$5,679 + 6,719 D - 0,057 D^2 = 0$$

$$D = 0,839 \text{ m}$$

Untuk faktor keamanan digunakan SF = 1,2 maka :

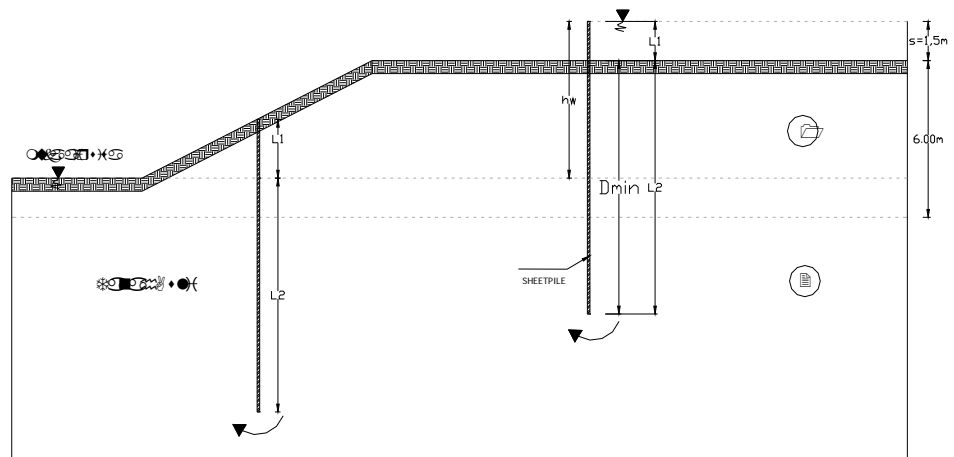
$$D = 1,2 \times 0,839 = 1,0068 \text{ m} \approx \text{diambil } \mathbf{D = 1m.}$$

Sehingga panjang sheetpile adalah $1,5 + 6 + 1 \text{ m} = 8,5 \text{ m}$.

6.2.4. Kontrol Terhadap Pengaruh Hidrodinamic

Akibat adanya perbedaan muka air di depan sheetpile dan di belakang sheetpile, dimana muka air di belakang sheetpile lebih tinggi daripada di depan sheetpile. Muka air di belakang sheetpile akan mengalami penurunan karena merembes ke bagian depan sheetpile. Hal ini akan menyebabkan tekanan tanah di depan sheetpile (tekanan tanah aktif) akan meningkat dan tekanan tanah di belakang sheetpile (tekanan tanah pasif) akan menurun, sehingga akan membahayakan struktur.

Untuk Lebih jelasnya lihat Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Arah aliran air di bagian belakang dan bagian depan sheetpile.

Sebagai akibat adanya perbedaan muka air di sisi dalam dan luar turap graving dock ($h_w = 6$ m), maka kedalaman turap D harus dikontrol terhadap pengaruh hydrodynamic yang dapat mengakibatkan keruntuhan “renard”.

G.Olivari (1986), memberikan persamaan untuk mencari D min akibat hydrodynamic (lihat Gambar 1) :

$$\gamma_1 \cdot D = \left(\frac{r \cdot \gamma_1 + \gamma_w}{Nq - 1} + \frac{\gamma_w}{2} \right) h_w$$

$$\Phi_2' = 30^\circ \longrightarrow Nq = 18,4$$

$$R = s / h_w \longrightarrow s = 1,5\text{m} \longrightarrow r = \frac{1,5}{6} = 0,25$$

$$\text{Untuk perhitungan turap : } 1,473 D = \left(\frac{0,25 + 1,473 + 1,05}{18,4 - 1} + \frac{1,05}{2} \right) \times 6$$

$$D_{\min} = 4,10 \text{ m (Ok!)}$$

Kesimpulan, untuk dimensi dan stabilitas turap:

- ✓ Kedalaman turap D dari MTA (+1,5 mLWS) = 7 m
- ✓ Panjang total sheetpile = 8,5 m

6.2.5. Perhitungan Momen pada Sheetpile

Dalam pemasangan sheetpile untuk alternatif kedua ini, kembali diperhitungkan besarnya momen yang bekeja. (Tabel 6.2).

Tabel 6.3. Besarnya Momem pada sheetpile

Gaya	P	Panjang Lengan	M thd titik O
	(ton)	(m)	(t.m)
Pa ₁	1,181	6,5+D	7,677 + 1,181D
Pa ₂	26,160	3+D	74,48 + 26,16D
Pa ₃	25,268	2+D	50,536 + 25,268D
Pa ₄	12,903D	0,5D	6,451 D ²
Pa ₅	0,702D ²	0,33D	0,232 D ³
Pp ₁	15,735	3,5+D	55,072 + 15,735D
Pp ₂	19,577	2,67+D	55,271 + 19,577D
Pp ₃	10,846	0,5+D	5,423 + 10,846D
Pp ₄	0,772	0,17+D	0,131 + 0,772D
Pp ₅	6,184D	0,5D	3,092 D ²
Pp ₆	0,759D ²	0,33D	0,25 D ³
TOTAL (ΣM)			23,787+ 5,679D+ 3,359D ² - 0,018D ³

$$M_x = 23,787 + 5,679D + 3,359D^2 - 0,018D^3$$

$$\frac{\delta M_x}{\delta x} = 5,679 + 6,718D - 10,036D^2$$

$$\frac{\delta M_x}{\delta x} = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh : D = 0,841 m

Sehingga :

$$M_{max} = 23,787 + 5,679(0,841) + 3,359(0,841)^2 - 0,018(0,841)^3$$

$$M_{max} = 30,928 \text{ t.m}$$

Sehingga M_{max} = 30,928 t.m

6.2.6. Perhitungan Momen Reduction

Momen maximum yang telah dihitung pada sub-bab sebelumnya, belum diperhitungkan terhadap Rowe's Momen reduction (Braja, M. Das 2nd Edition), sehingga aktual dapat lebih kecil dari yang tertera.

$$\triangleright Sn = 1,25 \frac{c}{\gamma_1 \cdot L_1 \times \gamma_2 \cdot L_2}$$

$$Sn = 1,25 \frac{0,029}{1,05 \cdot 1,5 \times 1,473 \cdot 4,5}$$

$$Sn = 0,0035 \approx 0$$

$$\triangleright \alpha = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$$

$$\alpha = \frac{1,5}{1,5 + 4,5} = 0,25$$

$$\triangleright \rho = \frac{H^4}{EI}$$

$$\rho = \frac{8,5^4}{2,1 \cdot 10^7 \times 3,82 \cdot 10^{-5}}$$

$$\rho = 6,507$$

$$\log \rho = 0,812$$

Dari hasil plot $\log \rho$ vs $\frac{Md}{M \max}$ Grafik Rowe. (1957), diperoleh koefisien

$$\text{Momen Reduksi} = \frac{Md}{M \max} = 1$$

sehingga $Md = 1 \times M \max$

$$= 1 \times 23,114 \text{ t.m} = 30,928 \text{ t.m.}$$

6.2.7. Penentuan Type Sheet Pile

Berdasarkan perhitungan momen diatas diketahui bahwa

$$M_{max} = 30,928 \text{ t.m}$$

Profil sheetpile yang dipakai :

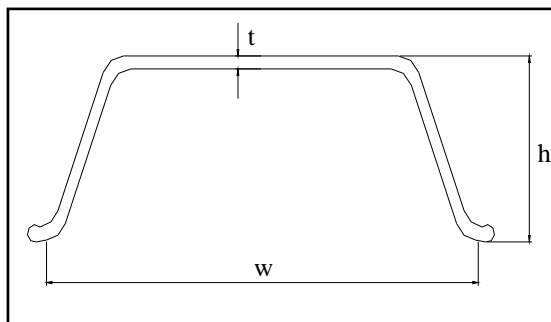
✓ Dipakai steel sheet pile mutu baja SY 30, tensile strength $\sigma' = 50000$ t/m² (Nippon Steel Corporation).

✓ Section modulus, $Z = \frac{M_{max}}{\sigma'}$

$$Z = \frac{30,928}{50000} = 618,56 \text{ cm}^3$$

Sehingga dapat ditentukan profil sheetpile yang akan digunakan, yaitu :

Type YSP II dengan spesifikasi :



$$w = 400 \text{ mm}$$

$$h = 100 \text{ mm}$$

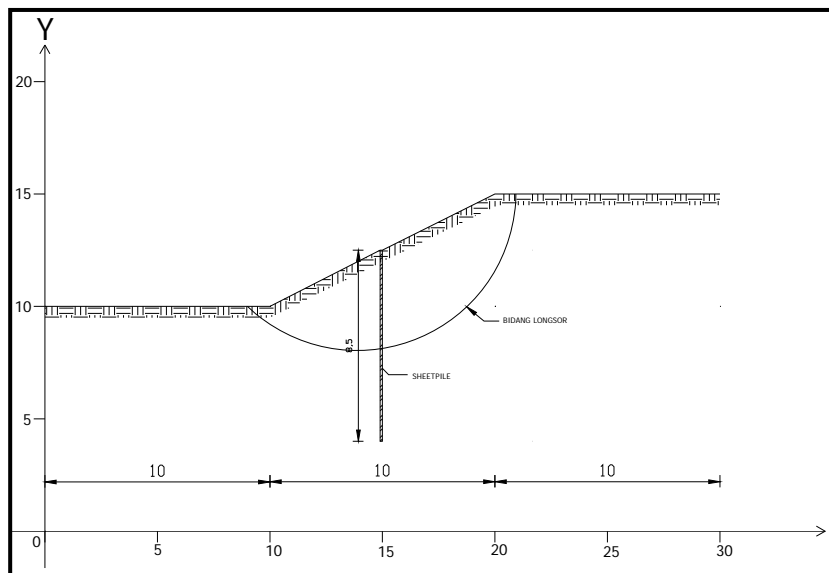
$$t = 10,5 \text{ mm}$$

$$I = 8690 \text{ cm}^2/\text{wall width}$$

$$Z = 869 \text{ cm}^3/\text{wall width}$$

6.2.8. Kontrol Stabilitas

Untuk menentukan kestabilan temporary sheetpile terhadap sliding digunakan program bantu XSTABLE. Dari analisa tersebut didapatkan SF minimum $1,8 \geq 1$. Sehingga kesimpulannya adalah stabilitas sheetpile memenuhi (sheetpile tidak mengalami sliding). Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran . Sementara gambar bidang longsor yang terjadi pada talud dengan adanya konstruksi temporary sheetpile dapat dilihat pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6. Gambar bidang longsor pada sheetpile.

6.3. DEWATERING

6.3.1. Umum

Dalam pekerjaan galian, terutama pada konstruksi yang berhubungan dengan air, atau yang berada di daerah laut, sering diperlukan adanya pekerjaan dewatering.

Fungsi dari pekerjaan dewatering ini antara lain :

- Pengeringan mata air pada pembuatan cofferdam.
- Pengeringan areal lokasi kerja.
- Menyedot air rembesan pada pekerjaan galian
- Merendahkan water table pada sekeliling lokasi galian

Pada proyek graving dock TNI –Al di kecamatan Semampir ini, pekerjaan dewatering bersifat non permanen yaitu dibutuhkan hanya pada saat pelaksanaan fisik graving dock berlangsung. Dewatering diperlukan agar sisi dalam galian (kolam) tetap bebas genangan air hingga -9.20 m dari muka tanah, sehingga kualitas pekerjaan tetap baik.

Dewatering diperlukan dalam pekerjaan galian untuk mengantisipasi adanya masalah rembesan air tanah, khususnya pada daerah dataran rendah dimana muka air tanah sekitarnya lebih tinggi. Kondisi air tanah sekitar yang tinggi dapat menimbulkan masalah dalam pekerjaan galian, yakni dapat mengganggu stabilitas lereng. Hal ini dapat diatasi dengan cara menurunkan muka air tanah (draw down) sampai kedalaman tertentu sehingga lokasi menjadi kering. Untuk menurunkan air tanah tersebutlah diperlukan dewatering.

Beberapa keuntungan dewatering antara lain:

1. Galian dalam keadaan bebas air, sehingga pelaksanaan konstruksi dapat dikerjakan seolah-olah seperti di atas muka tanah.
2. Menambah stabilitas lereng dan mengurangi tekanan lateral.
3. Kemiringan lereng bisa dibuat lebih curam, karena harga sudut geser meningkat.
4. Tekanan tanah aktif menurun sehingga dapat menyebabkan biaya penopang galian menjadi lebih murah.

Secara garis besar metode dewatering terbagi menjadi 2(dua) yaitu :

1. Metode dewatering secara gravitasi

Metode dewatering ini pada prinsipnya air dibiarkan mengalir, kemudian ditampung dengan alur dangkal (ditch). Untuk membuang airnya dilakukan dengan cara memompa air keluar.

Metode ini dibagi lagi menjadi 2(dua) macam, yaitu :

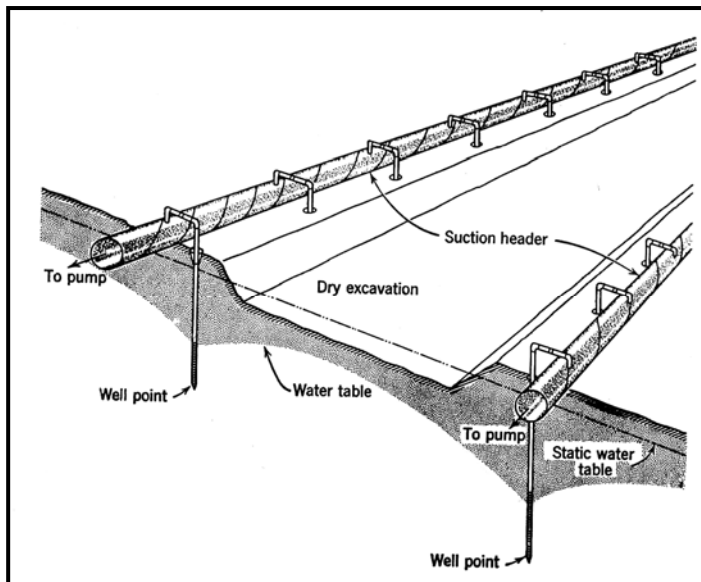
- Metode dewatering alur dangkal
- Metode sumur dalam (deep well method).

2. Metode dewatering secara paksaan

Metode ini pada prinsipnya adalah dengan memaksa air keluar dengan cara dihisap. Macam metode ini antara lain dengan titik sumur (well point method). Metode ini sering digunakan dalam teknik dewatering karena dinilai paling mudah dalam pelaksanaannya dan cukup efisien. Metode ini juga sering disebut dengan *sumur pancang* atau *sumur hisap*. Sumur hisap adalah suatu bagian dari pipa berlubang yang ujung bawahnya diruncingkan untuk memancangkannya ke dalam tanah. Alat ini dipancang dengan palu atau alat pancang. Karena terbatasnya ukuran dan kedalaman, sumur ini biasanya tidak digunakan untuk proyek - proyek penyediaan air yang besar, kecuali bila dibuat dalam jumlah yang banyak. Rangkaian sumur ini dipancang sepanjang parit dan sering digunakan untuk mengeringkan galian. Sumur – sumur tersebut kemudian dihubungkan dengan pipa yang bermulut banyak yang kemudian dihubungkan dengan pompa.

Atas pertimbangan efisiensi dan kemudahan dalam pelaksanaannya, maka pada perencanaan graving dock ini akan direncanakan dengan menggunakan sistem dewatering *metode titik sumur (well point method)*. Secara garis besar, keuntungan menggunakan sistem dewatering well point method ini adalah dapat dibangun dalam waktu yang cukup singkat, dengan biaya yang cukup murah, dan dapat dikerjakan dengan menggunakan tenaga manusia.

Untuk lebih jelasnya, cara kerja sistem dewatering metode well point dapat dilihat pada Gambar 6.7.

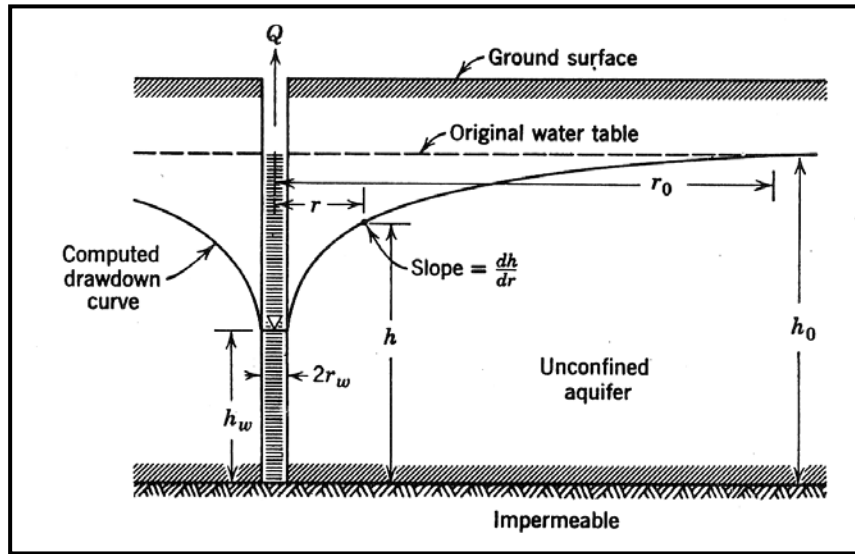


Gambar 6.7. Cara kerja sistem dewatering well point method.

6.3.2. Perencanaan Dewatering

Perhitungan dewatering dengan metode sumur hisap (well point method), bertujuan untuk mencari besarnya debit air (Q) yang mengalir ketika dilakukan penggalian terhadap suatu lapisan tanah. Debit air yang mengalir tersebut nantinya harus dipompa agar muka tanah galian menjadi kering. Turunnya muka air tanah (draw down) pada saat dewatering tergantung pada besarnya debit pemompaan. Semakin besar turunnya muka air tanah yang diinginkan, maka semakin besar pula debit pemompaan yang dibutuhkan. Spesifikasi dan jumlah pompa yang dipakai adalah sesuai dengan kebutuhan debit pemompaan. Adapun perumusan dari debit air (Q) yang mengalir ketika dilakukannya dewatering adalah :

$$q_1 = \pi \cdot K \cdot \frac{(h_o^2 - h_w^2)}{\ln(ro/rw)} \text{ (Lebih jelasnya lihat Gambar 6.8).}$$



Gambar 6.8. Perhitungan debit air pemompaan pada saat dewatering

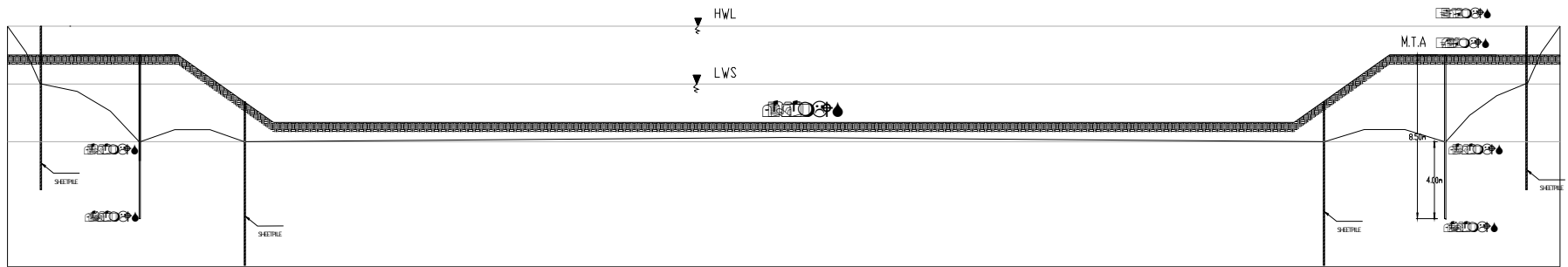
Turunnya muka air tanah (draw down) yang mampu dicapai oleh sistem dewatering metode titik sumur (well point method) adalah antara 15 – 20 feet atau sekitar 4,5m – 6,5 m. Sementara muka air tanah yang harus diturunkan agar lokasi pada perencanaan graving dock ini agar dapat dijadikan areal kerja adalah 11,2 m. Untuk itu dewatering harus dilakukan secara bertahap, yaitu :

- Tahap I : dari tinggi pisometris air tanah mula – mula diturunkan sampai pada tinggi pisometris h_{w1} .
- Tahap II : dari tinggi pisometris air tanah h_{w1} diturunkan sampai pada tinggi pisometris h_{w2} .

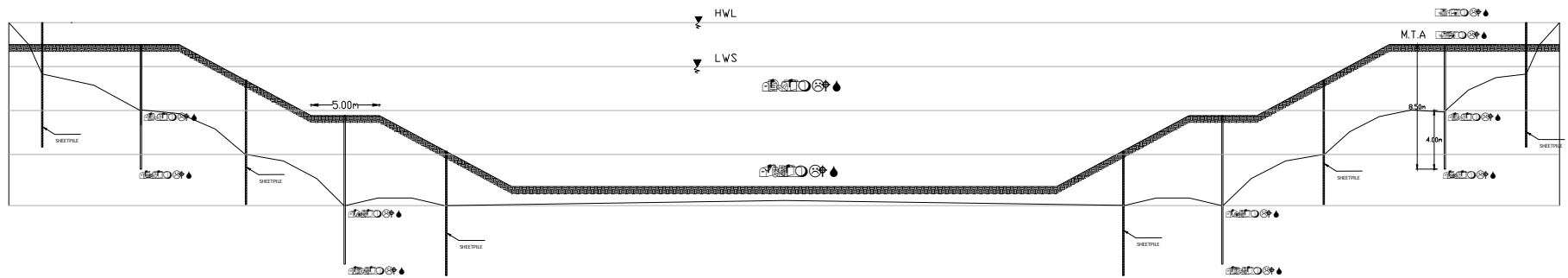
6.3.3. Penentuan elevasi pisometris

Elevasi penurunan muka air tanah pada tiap tahapan dewatering adalah :

- Tahap I : muka air diturunkan sampai pada elevasi -3.00 mLWS.
- Tahap II : muka air diturunkan sampai pada elevasi -9.50 mLWS



Gambar 6.9. Dewatering Tahap I



Gambar 6.10. Dewatering Tahap II

6.3.4. Dewatering Tahap I

- Elevasi muka tanah asli = +1.50 mLWS
- Elevasi muka air = +3.00 mLWS
- Elevasi muka galian = -2.00 mLWS
- Elevasi pisometer pada titik letak pompa
- setelah dewatering dilaksanakan (hw_1) = -3.00 mLWS
- Draw down (S) = 6.00m
- Diameter sumur = 4''(10,16 cm)
- Panjang sumur (H) = +1.50 - (-7.00) = 8.5m
- Kontrol S/H = $\frac{6}{8.5} = 0.7 \leq 0.7(OK!)$

$$q_1 = \pi \cdot K \cdot \frac{(h_o^2 - h_w^2)}{\ln(ro / rw)}$$

$$q_1 = 3.14 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(10^2 - 4^2)}{\ln(10/0.05)}$$

$$q_1 = 4.978 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / dt$$

$$q_1 = 2.987 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{jam} \text{ (sangat kecil).}$$

direncanakan jarak antar sumur = 5m, maka

$$\text{jumlah sumur (n)} = \frac{144 \times 2}{5} = 57.6 \approx 58 \text{ buah}$$

$$q_1 = 4.978 \cdot 10^{-7} \times 58 = 1.732 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Volume air yang harus dipindahkan} = 144 \times 78 \times 6 = 84536.64 \text{ m}^3$$

Jika direncanakan air harus turun dalam waktu 12 jam, maka

$$q_2 = \frac{84536.64}{12} = 7044.72 \text{ m}^3 / \text{jam}$$

$$Q_{\text{total}} = q_1 + q_2$$

$$= 4.978 \times 10^{-3} + 7044.72$$

$$= 7044.718 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Jika dipakai pompa EBARA model 400 SZ- 75 KW x 360/ 60 V x 3 phase x 50 Hz terkoppel diatal Base Frame dengan V-Belt kapasitas 1500 m³ / jam, maka dibutuhkan pompa:

$$n \text{ pompa} = \frac{7044.148}{1500} = 4.697 \approx 5 \text{ buah pompa}$$

6.3.5. Dewatering Tahap II

- Elevasi muka tanah asli = -2.00 mLWS
- Elevasi muka air = -3.00 mLWS
- Elevasi muka galian = -6.00 mLWS
- Elevasi pisometer pada titik letak pompa setelah dewatering dilaksanakan (hw_1) = -9.50 mLWS
- Draw down (S) = 6.50m
- Diameter sumur = 4''(10,16 cm)
- Panjang sumur (H) = 10.15m
- Kontrol S/H = $\frac{6.5}{10.15} = 0.640 \leq 0.7(OK!)$

$$q_1 = \pi \cdot K \cdot \frac{(h_o^2 - h_w^2)}{\ln(ro / rw)}$$

$$q_1 = 3.14 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(7.5^2 - 1^2)}{\ln(9.85 / 0.05)}$$

$$q_1 = 3.284 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 / dt$$

$$q_1 = 1.97 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{jam} \text{ (sangat kecil).}$$

direncanakan jarak antar sumur = 5m, maka

$$\text{jumlah sumur (n)} = \frac{144 \cdot 2}{5} = 57.6 \approx 58 \text{ buah}$$

$$q_1 = 4.978 \cdot 10^{-7} \cdot 58 = 1.732 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Volume air yang harus dipindahkan} = 144 \cdot 59.4 \cdot 6.5 = 55598.4 \text{ m}^3$$

Jika direncanakan air harus turun dalam waktu 12 jam, maka

$$q_2 = \frac{55598.4}{12} = 4633.2 \text{ m}^3 / \text{jam}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= q_1 + q_2 \\ &= 1.732 \times 10^{-3} + 4633.2 \\ &= 4633.202 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Jika dipakai pompa EBARA model 400 SZ- 75 KW x 360/ 60 V x 3 phase x 50 Hz terkoppel diatal Base Frame dengan V-Belt kapasitas 1500 m³ / jam, maka dibutuhkan pompa:

$$n \text{ pompa} = \frac{4633.202}{1500} = 3.089 \approx 4 \text{ buah pompa}$$

Gambar 6.1. Kondisi Pemasangan Sheetpile Di Lapangan.....	221
Gambar 6. 2. Diagram Tekanan Tanah yang Bekerja pada Sheetpile.	222
Gambar 6.3. Alternatif Lain Kondisi Pengerukan Graving Dock.....	226
Gambar 6.4. Diagram Tekanan Tanah pada Sheetpile.....	226
Gambar 6.5. Arah aliran air di bagian belakang dan bagian depan sheetpile. ...	229
Gambar 6.6. Gambar bidang longsor pada sheetpile.	233
Gambar 6.7. Cara kerja sistem dewatering well point method.	236
Gambar 6.8. Perhitungan debit air pemompaan pada saat dewatering	237
Gambar 6.9. Dewatering Tahap I.....	238
Gambar 6.10.Dewatering Tahap II.....	238

Tabel 6.1. Parameter Tanah Dasar di Lokasi Graving Dock	220
Tabel 6.2.. Momen Yang Bekerja pada Sheetpile.....	225
Tabel 6.3. Besarnya Momem pada sheetpile	230

BAB VII

METODE PELAKSANAAN

7.1 UMUM

Dalam Bab 7 ini akan dibahas mengenai metode pelaksanaan pekerjaan yang mungkin akan dilaksanakan di Proyek Perencanaan Graving Dock di Kawasan Pangkalan TNI-AL di kecamatan Semampir kota Surabaya yang berdasar pada hasil perencanaan pada bab – bab sebelumnya.

Dalam bab ini tidak dibahas secara detail tentang pelaksanaan sesungguhnya di lapangan tetapi hanya akan membahas mengenai konsep dasar pelaksanaan pengerukan, pemancangan sheetpile, dewatering dan struktur graving itu sendiri.

Metode pelaksanaan graving dock ini meliputi beberapa tahapan pekerjaan sebagai berikut:

- Pekerjaan persiapan.
- Pekerjaan pengerukan (dregding). areal graving dock.
- Pemancangan tiang pancang.
- Pemancangan temporary steel sheetpile untuk dewatering (Tahap I).
- Pemancangan temporary steel sheet pile untuk dewatering (Tahap II).
- Dewatering
- Pemotongan tiang pancang.
- Pengecoran graving dock
- Pekerjaan urugan.
- Pencabutan temporary sheetpile.

7.2 PEKERJAAN PERSIAPAN

Dalam tahap Pekerjaan Persiapan ini hal-hal yang dilakukan adalah persiapan pelaksanaan, baik yang di darat maupun di laut. Sebelum melakukan kegiatan konstruksi dilakukan terlebih dulu pekerjaan persiapan atau masa pra konstruksi. Dalam Masa Prakonstruksi ini hal-hal yang dilakukan adalah :

- Persiapan Areal Pekerjaan
- Mobilisasi Peralatan

7.2.1 Persiapan areal pekerjaan.

Pekerjaan persiapan areal pekerjaan meliputi :

- Pembersihan lahan, yakni membersihkan lahan proyek dan lahan disekitar proyek yang telah dibebaskan dari hal – hal yang akan mengganggu jalannya proyek secara keseluruhan.
- Direksi kit, yang berfungsi sebagai tempat untuk keperluan rapat, konfirmasi antar organisasi atau personil yang terkait, pengawasan dan lain-lain.
- Pos jaga, yang berfungsi sebagai tempat pengawasan alat dan material
- Gudang, sebagai tempat penyimpanan bahan yang akan dipakai.

7.2.2 Mobilisasi peralatan.

Setelah pemasangan patok- patok kayu, dilakukan pekerjaan timbunan jalan kerja, kemudian pekerjaan mobilisasi peralatan.

Peralatan yang akan digunakan dibagi menjadi 2, yaitu :

1. Peralatan Berat

- *Mobile Crane* untuk pemasangan dan pengangkutan komponen material.
- *Dump Truck* untuk pengangkutan komponen tiang pancang dari pabrik ke lokasi.

- *Clampshell* untuk menggali tanah.
- *Concrete Pump Truck*.
- *Ponton*
- *Hammer Hidraulik* untuk keperluan tiang pancang.

2. Peralatan Ringan

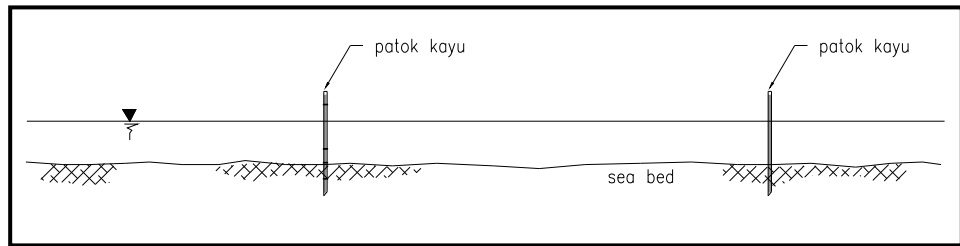
- *Grouting Pump* untuk mengisi bahan grouting pada sambungan-sambungan kedap air.
- *Concrete Vibrator*.
- *Pompa Air* untuk mengatur sistem drainage.

7.3 PEKERJAAN PEMANCANGAN TEMPORARY STEEL SHEETPILE.

Sebelum melakukan kegiatan pemancangan temporary steel sheetpile, dianjurkan untuk melakukan pengukuran bathymetri terlebih dahulu, yang digunakan untuk kontrol/checking kondisi kedalaman dasar laut ditentukan dengan sempurna. Semua elevasi pengukuran harus mengacu pada Bench Mark (BM) yang sudah ada atau dibuat baru yang ketinggiannya direferensikan dengan titik – titik tetap di sekitar graving dock.

Setelah itu dilakukan pekerjaan survey batas-batas lokasi temporary steel sheetpile yang akan dibangun. Pemasangan tanda-tanda (rambu) batas pelaksanaan pemancangan. Pekerjaan ini dilakukan untuk menentukan posisi pekerjaan pemancangan sheetpile agar posisinya sesuai dengan yang direncanakan.

Rambu atau tanda batas yang digunakan dapat berupa tiang kayu atau bambu yang ditancapkan pada sisi luar daerah batas pekerjaan pemancangan temporary steel sheetpile. Tanda batas ini dapat pula berupa potongan kayu yang diikat dengan blok beton dan ditenggelamkan pada posisi lokasi pekerjaan graving dock ataupun di tepinya (Lihat Gambar 7.1).



Gambar 7.1. Pemasangan patok kayu

Alat yang dipergunakan :

- 2 buah ponton
- 1 Crane
- 1 hydraulic hammer
- 2 buah Teodolit / Waterpas

Dalam pekerjaan pemancangan temporary steel sheetpile, yang dipakai adalah sheetpile baja profil YSP II dengan panjang total 8,5 m.

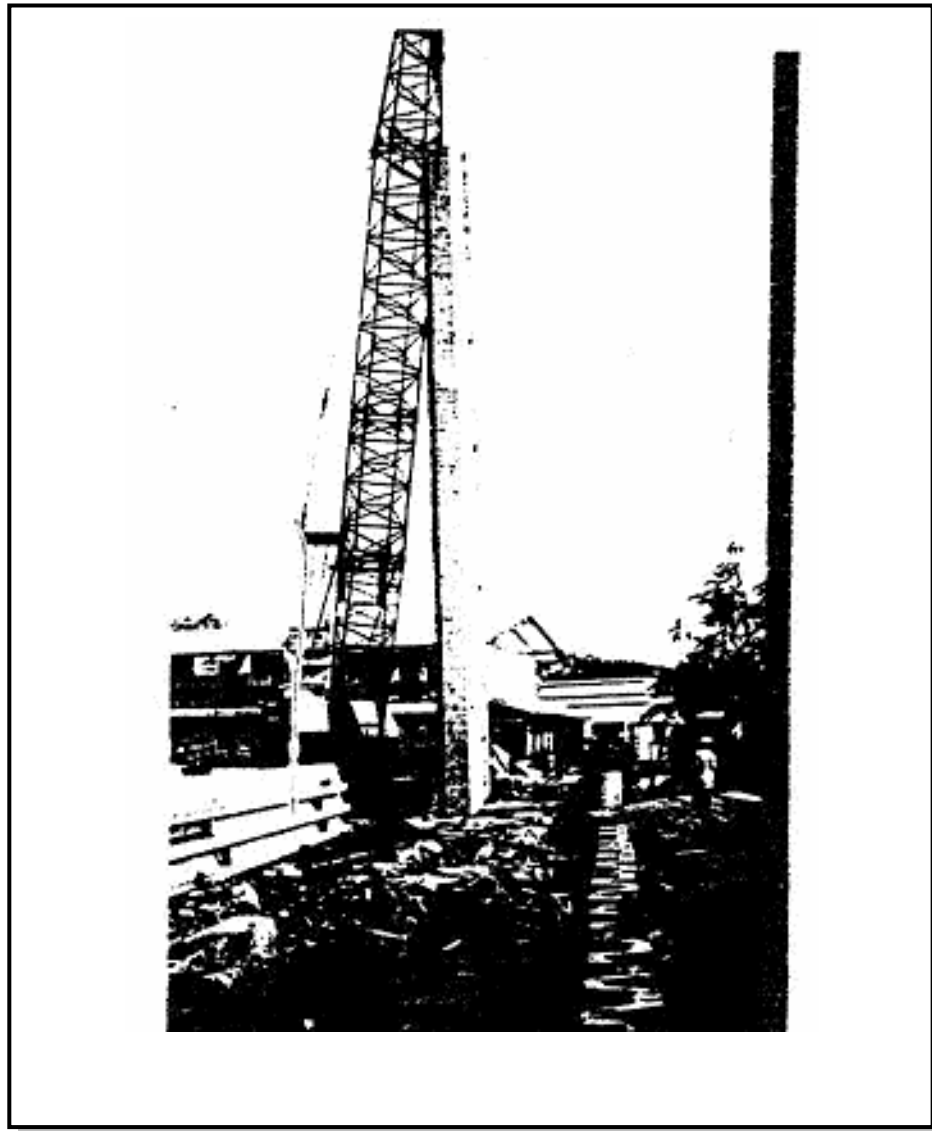
Agar posisi sheetpile benar – benar tegak maka pada saat pemancangan harus selalu dipantau dengan theodolit.(Gambar 7.2). Pada saat penyambungan sheetpile harus dilaksanakan secara hati – hati sehingga diperoleh sambungan yang rapat. Untuk Lebih jelasnya lihat Gambar 7.2. dan Gambar 7.3.



Gambar 7.2. Alat Teodolit



Gambar 7.3. Penumpukan sheetpile



Gambar 7.4. Pekerjaan Pemancangan Sheetpile

7.4 PEKERJAAN DREDGING GRAVING DOCK AREA

7.4.1. Umum

Pada Proyek Graving Dock di kawasan Pangkalan TNI AL kecamatan Semampir ini diperlukan pengerukan (dredging) serta penggantian tanah dasar, karena mengingat kondisi tanahnya yang tidak memenuhi, dan dangkal. Pengerukan ini dimaksudkan untuk

memperdalam kedalaman tanah dasar sampai mencapai kedalaman yang diinginkan. Elevasi kedalaman kolam perairan galian harus mencapai kedalaman yang diinginkan yaitu -8,2 mLWS.

Dalam pekerjaan pengerukan, sebelum dimulai terlebih dahulu diadakan suatu penelitian, maksudnya agar pengerukan ini benar – benar optimal dan diusahakan seekonomis mungkin.

Penelitian tersebut antara lain :

1. Survey Penampang

Survey ini dilakukan untuk mengetahui profil kontur laut pada saat sebelum diadakannya pengerukan, juga untuk mengetahui besarnya volume pengerukan yang nantinya akan dikerjakan. Pada pekerjaan pengerukan ini, ditempatkan patok – patok sejarak 20 -30 m sepanjang laut yang akan dikeruk. Pegukuran kedalaman dapat juga dilaksanakan dengan menggunakan cara Echo Sounding, yakni dengan menggunakan alat dengan getaran suara.

2. Survey Keadaan Tanah dan Pemilihan Type Kapal Keruk

Agar pemakaian jenis kapal keruk benar – benar tepat, maka harus diadakan penyelidikan jenis tanah pada lokasi yang akan dikeruk.

3. Penelitian Tempat Pembuangan.

Agar didapatkan suatu daerah pembuangan yang ekonomis, maka perlu diperhatikan beberapa faktor dalam pemilihan lokasi pembuangan hasil pengerukan. Luas daerah pembuangan, topografi, dan mengalirnya kembali aliran air harus benar – benar diperhatikan.

7.4.2. Survey Kedalaman

Survey kedalaman terbagi menjadi 2(dua) tahap, yaitu :

1. Pra-Survey Pengerukan (Predredged Sounding)

Sebelum memulai pekerjaan pengerukan harus dilakukan survey awal terlebih dahulu. Survey ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi awal areal dan juga untuk mengantisipasi

bahwa areal yang akan dikeruk tidak ada barang – barang yang berbahaya maupun kapal karam. Untuk mendeteksi adanya barang – barang berbahaya di dasar laut digunakan alat yang disebut magnetic profiling, sedangkan untuk menentukan kontur kedalaman areal pengerukan yang nantinya digunakan untuk perhitungan volume pengerukan digunakan alat yang disebut echosounder.

Apabila dibawah laut tersebut terdapat barang – barang yang bias mengganggu selama pekerjaan, maka barang tersebut harus diambil terlebih dahulu.

2. Survey Setelah Pengerukan (Post-Dredged Sounding)

Setelah keseluruhan pengerukan diperkirakan selesai harus dilakukan survey pada areal pengerukan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah pekerjaan pengerukan yang dilakukan sudah sesuai dengan yang direncanakan. Pemeriksaan kedalaman dilakukan secara acak di beberapa segmen. Bila pengukuran yang dilakukan telah sesuai dengan kedalaman rencana, maka pemeriksaan pengukuran telah selesai.

2. Survey Monitoring Hasil dan Pengukuran Volume Pengerukan

Volume pengerukan dihitung dalam satuan m^3 tanah pada kondisi di tempat pengerukan. Perhitungan volume dengan melakukan pengukuran (sounding) pada kondisi awal, selama pekerjaan dan pada akhir pekerjaan pengerukan. Selisih hasil pengukuran adalah volume tanah yang dikeruk.

Cara – cara perhitungan dilakukan sebagai berikut: kondisi akhir yang dihitung harus sesuai dengan kedalaman maupun kemiringan lereng seperti yang direncanakan. Pengukuran pada kondisi awal dilakukan sebelum pekerjaan pengerukan dimulai yang nantinya dipakai sebagai dasar perhitungan volume.

Pengukuran akhir dilakukan 1 (satu) bulan setelah pekerjaan benar-benar selesai untuk menjamin tidak terjadinya longsoran-longsoran yang mengakibatkan pendangkalan pada kolam dan alur pelabuhan dan untuk mendapatkan kondisi final yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan volume pengerukan keseluruhan.

7.4.3. Jenis – Jenis Kapal Keruk (Dredger)

Pengetahuan mengenai macam dredger sangat diperlukan sebelum menentukan/memilih peralatan yang akan dipakai dan sesuai untuk suatu proyek.

Ada beberapa jenis kapal keruk yang biasanya dioperasikan, bermesin penggerak sendiri maupun tidak, mekanik maupun hidrolik. Dilihat dari teknis pengerukan, terdapat tiga jenis kapal keruk yaitu :

1. Kapal keruk mekanis (mechanical dredger).

Kapal keruk jenis mekanis dapat dikatakan peralatan yang cukup sederhana, yaitu mempunyai analogi dengan peralatan penggalian di darat dimana kapal keruk mekanis merupakan kapal keruk yang banyak mengutamakan kekuatan mekanis dari lengan pengeruk. Kapal keruk ini mempunyai produktivitas kerja yang rendah dan lebih cocok untuk melakukan pengerukan awal (*capital dredging*) dengan volume kurang dari 100.000 m³. Ada empat tipe dari kapal keruk mekanis antara lain :

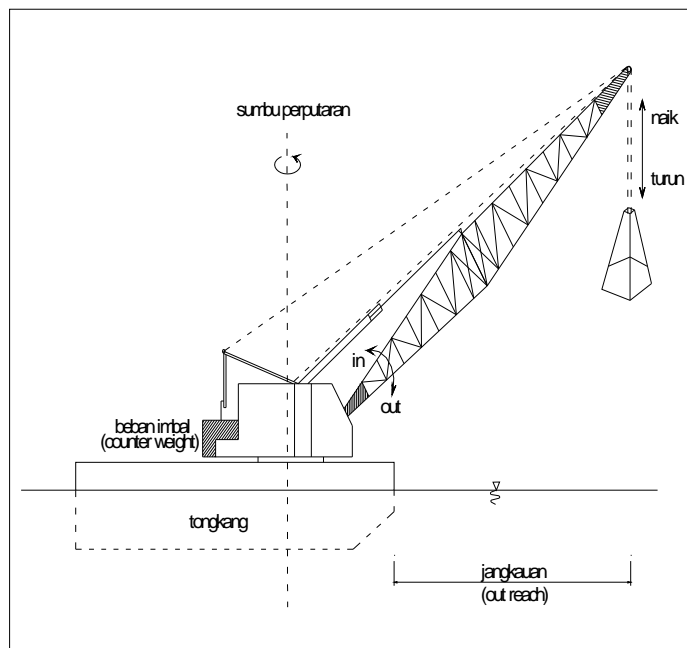
- Kapal keruk cakram (grab/clamshell dredger).

Terdiri dari satu tongkang (*barge*) dimana ditempatkan peralatan cakram (*grab/clamshell*). Jenis kapal keruk ini lebih cocok digunakan untuk pengerukan tanah lembek atau pada bagian – bagian kolam pelabuhan dan di muka dermaga atau tambatan. Draft kapal cukup pendek (kurang dari 2.5 m) karena peralatan pengerukan berada di atas tongkang. Panjang jangkauan lengan (*outrreach*) bervariasi antara 8 – 12 m.

Kapal keruk ini mudah didapatkan dan tidak sulit untuk mobilisasi ke lokasi proyek. Sedangkan produktivitas pengerukan dapat dikatakan cukup rendah. Hal ini dapat dilihat dari volume pengerukan yang diperoleh (kurang lebih 1 m³) untuk *cycle time* yang diperkirakan sekitar 3 menit. Atau dapat dikatakan bahwa produktivitasnya sebesar :

$$\text{Produktivitas} = \frac{1 \text{ m}^3}{3 \text{ menit}} = 20 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

Tipe kapal ini dapat dilihat pada Gambar 7.1.



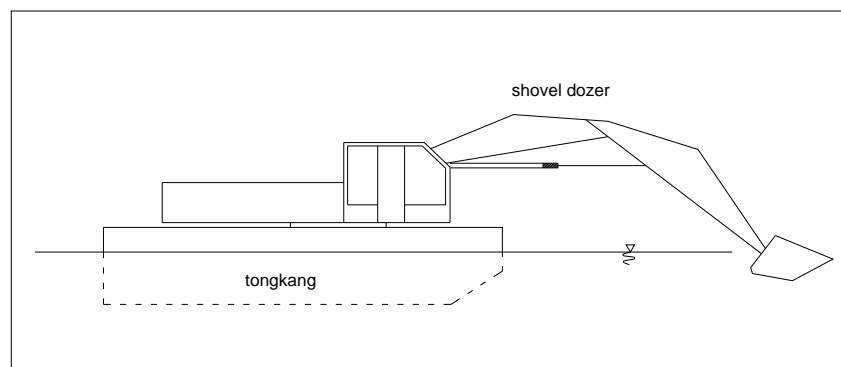
Gambar 7.5. Kapal tipe *clamshell dredger*

- Kapal keruk penggali (*dipper dredger*).

Kapal ini merupakan analogi alat penggalian tanah di darat yang dikenal sebagai “*shovel dozer*”. Alat keruk yang digunakan merupakan alat penggali tanah yang menghadap/menelungkup ke tanah. Alat ini mempunyai tenaga pengungkit dan desak yang cukup besar untuk dapat memecah tanah/batu, sehingga akan bekerja secara efektif dan lebih cocok untuk pengerukan lapisan

tanah keras, tanah padat ataupun tanah berpasir. Kapal tipe penggali ini ditempatkan di atas tongkang seperti pada tipe *grab/clamshell dredge*, dan draft kapal pun hampir sama yaitu kurang dari 2.5 m. Panjang jangkauan lengan juga hampir sama dan bervariasi antara 8 – 12 m.

Kapal keruk ini mudah didapatkan dan juga mudah untuk mobilisasi ke lokasi dermaga. Sedangkan produktivitas pengerukan dapat dikatakan cukup rendah. Hal ini dapat dilihat dari volume pengerukan yang diperoleh (kurang lebih 1 m^3) untuk *cycle time* yang diperkirakan sekitar 3 menit, atau produktivitasnya sekitar $20 \text{ m}^3/\text{jam}$. Tipe kapal ini dapat dilihat pada Gambar 7.2 seperti berikut:

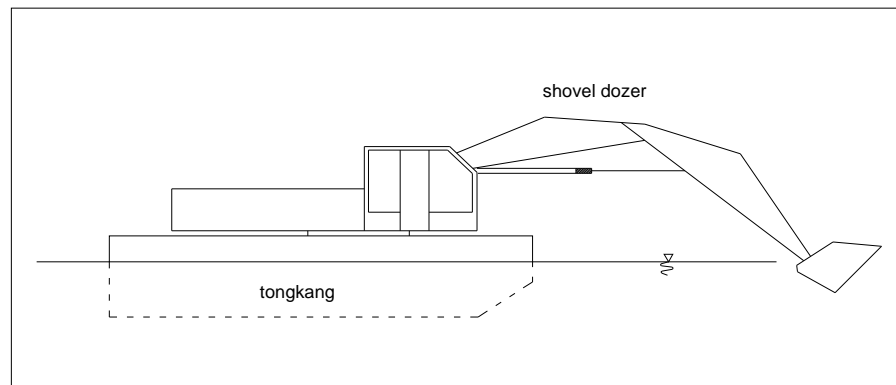


Gambar7.6. Kapal tipe *dipper dredger*

- Kapal keruk backhoe (*backhoe dredger*).

Kapal keruk ini hampir sama dengan kapal keruk tipe *dipper dredger*. Perbedaannya terletak alat keruk yang digunakan merupakan alat penggali tanah yang menghadap/menelungkup atas (berlawanan dengan tipe *dipper dredger*), sehingga alat lebih cocok digunakan pada tanah yang didominasi oleh pasir dan lumpur. Sedangkan hal lainnya, antara lain: draft kapal (tongkang), panjang jangkauan lengan produktivitas dan

mobilisasi peralatan kapal keruk tipe bachoe dapat dianggap sama dengan kapal keruk tipe *dipper dredger*. Tipe kapal ini dapat dilihat pada gambar 7.3 seperti berikut:



Gambar7. 7. Kapal tipe *backhoe dredger*

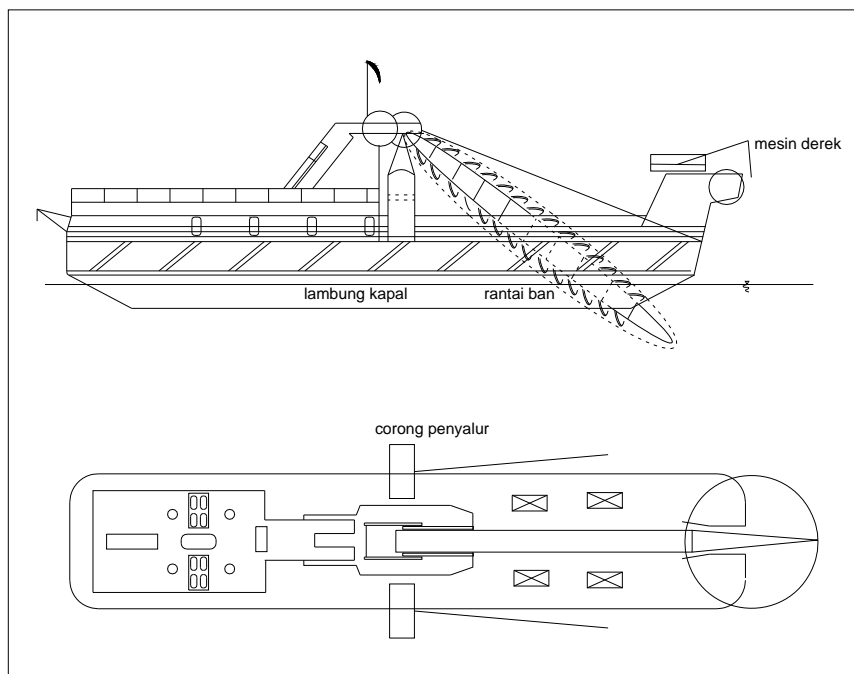
- Kapal keruk timba (*bucket dredger*).

Merupakan jenis kapal keruk dengan rantai ban yang bergerak tak berujung pangkal (*endless belt*) dimana terdapat timba – timba pengeruk (*bucket*). Gerakan rantai beserta timba ini merupakan gerak berputar mengelilingi suatu struktur utama yang biasanya dikenal sebagai “*ladder*”. (Lihat gambar 7.3.). Ladder ini dapat digerakkan naik turun disesuaikan dengan kedalaman keruk yang diinginkan dengan menggunakan tali baja (*steel wires*). Tali baja ini dililitkan pada suatu sistem tabung (drum) dengan alat penggerak/pengangkat yang biasa disebut dengan mesin derek (*winch*). Ujung bawah rantai ban masuk ke dalam tanah yang akan dikeruk, sehingga gerak timba yang mempunyai berat sendiri cukup besar dapat menggantinya. Karena gerakan rantai ban timba yang terus – menerus, maka timba pengeruk tersebut akan terangkat ke atas permukaan dengan membawa tanah galian.

Pada saat timba berada di bagian ujung atas yang lain dari ladder maka tanah galian dengan sendirinya akan tumpah ke bawah yang kemudian ditampung oleh “corong penyalur”. Corong

penyalur ini kemudian menyalurkan tanah galian ke dalam bak/kapal penampung yang beroperasi di samping kapal keruk dan bak/kapal penampung ini akan ditarik oleh kapal tunda ke tempat pembuangan yang dikehendaki.

Peralatan pengerukan menggunakan timba ini lebih cocok digunakan untuk tanah yang didominasi pasir atau lumpur. Peralatan keruk ini dioperasikan di atas kapal (bukan tongkang), dan draft kapal adalah lebih dalam dibandingkan ketiga kapal yang telah disebutkan di atas, sehingga kapal keruk timba lebih cocok digunakan untuk area yang lebih luas dan dalam. Karena memiliki peralatan menimba tanah yang bekerja secara terus – menerus mak dapat dikatakan produktifitasnya lebih tinggi (sekitar tiga kali produktivitas kerja ketiga kapal di atas) tetapi juga lebih mahal karena peralatannya lebih rumit. Untuk mendapatkan kapal keruk ini lebih sulit, begitu juga dengan mobilisasi kapal ke areal pengerukan.



Gambar 7.8. Kapal tipe *bucket dredger*

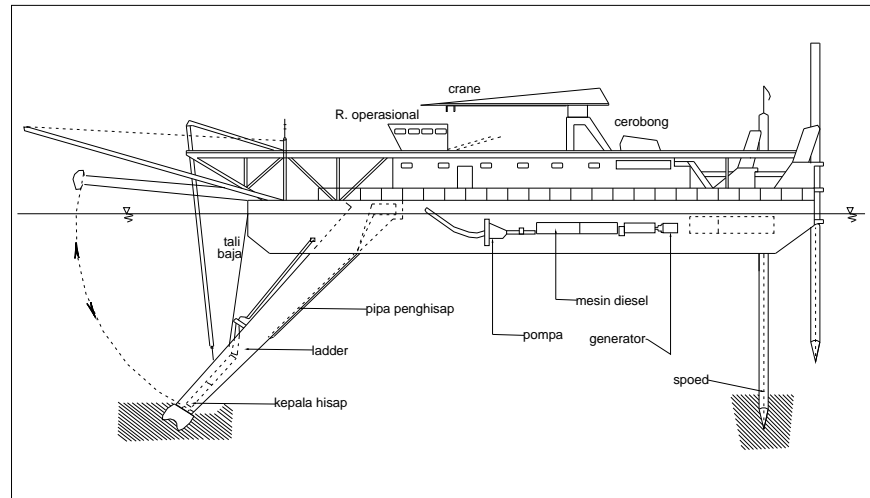
2. Kapal keruk hidraulis (*hydrolic dredger*)

Pada dasarnya, yang dimaksud hidraulis pada kapal ini (lihat Gambar 7.4), adalah bahwa tanah yang dikeruk bercampur dengan air laut, yang kemudian campuran tadi dihisap oleh pompa penghisap (*suction pipe*) secara hidrolis untuk selanjutnya melalui pipa pembuang (*discharge pipe*) dialirkan ke daerah pembuangan (bak/kapal penampung). Pada beberapa jenis kapal, tanah hasil kerukan dapat ditampung oleh kapal itu sendiri (*hopper suction dredger*) dan pada saat yang tepat tanah galian dibuang ke tempat yang dikehendaki.

Untuk mendapatkan dan mobilisasi kapal keruk dengan teknologi yang lebih rumit ini ke areal pengerukan jauh lebih sulit karena jumlahnya yang memang lebih sedikit. Dan karena pada umumnya peralatan keruk cukup besar maka peralatan ini ditempatkan di atas kapal yang lebih besar pula sehingga draft kapalnya juga lebih dalam. Hal tersebut menyebabkan kapal keruk menjadi lebih cocok digunakan pada perairan yang lebih dalam. Kelebihan kapal keruk hidraulis ini adalah produktivitas kerjanya yang tinggi dan lebih cocok untuk melakukan pengerukan awal (*capital dredging*) dengan volume lebih dari 100.000 m³. Ada dua tipe dari kapal keruk hidraulis antara lain :

1. Kapal keruk penghisap debu (*dust pan dredger*)

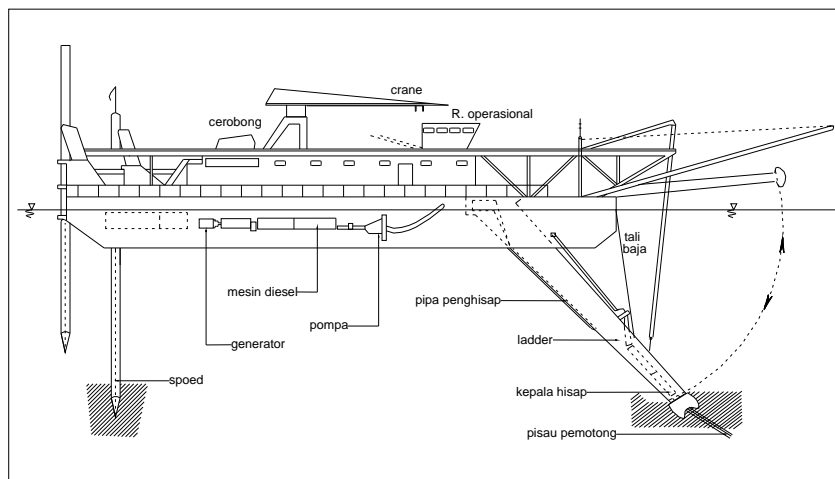
Kapal keruk ini mempunyai kemampuan menghisap tanah yang didominasi oleh pasir. Cara kerja dari peralatan keruk ini pada prinsipnya hampir sama dengan alat penghisap debu seperti yang telah dijelaskan di atas. Tipe kapal ini dapat dilihat pada Gambar 7.4 seperti di bawah ini:



Gambar 7.9. Kapal tipe *dust pan dredger*

2. Kapal keruk pemotong tanah (*suction dredger*)

Perbedaan dasar kapal ini dengan jenis dust pan dredger adalah pada ujung alat penghisap ditempatkan suatu alat sejenis pisau pemotong yang dapat memotong/menghancurkan tanah dan kemudian menghisap tanah sedemikian hingga untuk ditempatkan ke bak penampungan. Tipe kapal ini dapat dilihat pada Gambar 7.5 seperti di bawah ini:



Gambar 7.10. Kapal *suction dredger*

3. Kapal keruk mekanis - hidraulis (*mechanic - hydrolic dredger*)

Secara umum kapal ini merupakan kapal yang lebih lengkap, karena merupakan kombinasi dari kedua jenis kapal keruk yaitu kapal keruk mekanis dan hidraulis. Dengan demikian kapal ini akan mampu melakukan pengerukan pada tanah heterogen dan mempunyai produktivitas yang tinggi. Kekurangannya adalah draft kapal yang cukup besar sehingga lebih cocok untuk perairan dalam; dan pengadaan maupun mobilisasinya lebih sulit.

7.4.4. Pemilihan Kapal Keruk

Pemilihan tipe kapal keruk yang sesuai pada perencanaan pengerukan pada proyek graving dock ini berdasarkan beberapa hal seperti berikut : tanah pada areal pengerukan hingga mencapai kedalaman keruk rencana (- 8,2 mLWS); kemampuan jangkauan lengan pengeruk dan draft kapal; kemudahan pengadaan maupun mobilisasi kapal keruk ke areal pengerukan; produktivitas kerja kapal keruk yang akan berimbas pada segi ekonomis.

Dari beberapa hal di atas prioritas yang paling utama adalah kondisi tanah yang akan dikeruk. Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa tanah di lokasi pengerukan merupakan tanah yang didominasi oleh lempung berlanau. Prioritas yang kedua adalah draft kapal keruk apakah mencukupi untuk melakukan pengerukan. Dengan mempertimbangkan bahwa areal pengerukan tidak terlalu dalam, maka harus dipilih kapal keruk dengan draft kapal yang cukup. Prioritas yang ketiga adalah aspek pengadaan maupun mobilisasi kapal keruk ke areal pengerukan, dan yang terakhir adalah produktivitas kapal keruk.

Berdasarkan prioritas – prioritas seperti di atas dan definisi dari tiap kapal keruk, maka pengerukan di wilayah perairan graving dock TNI – AL di kecamatan Semampir ini direncanakan menggunakan kapal keruk tipe *Backhoe Dredger*, dimana kapal keruk ini mampu mengeruk tanah

yang didominasi oleh lempung berlanau; draft kapal mencukupi untuk melakukan pengerukan; pengadaan, biayanya cukup murah, dan mobilisasinya tidak terlalu sulit,

7.4.5. Metode Kerja

Metode kerja untuk pengerukan harus dengan mempertimbangkan kondisi lapangan dan material dasar laut asli yang harus dikeruk. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

- Pengaturan menyeluruh antara pengerukan dan pembuangan
- Peralatan pengerukan dan peralatan pembuangan material hasil pengerukan.
- Metode pengukuran untuk volume pengerukan
- Hubungan antara pengerukan dengan fasilitas yang ada di tepi pantai atau didekatnya.
- Perlindungan terhadap lingkungan
- Tindakan-tindakan pengamanan

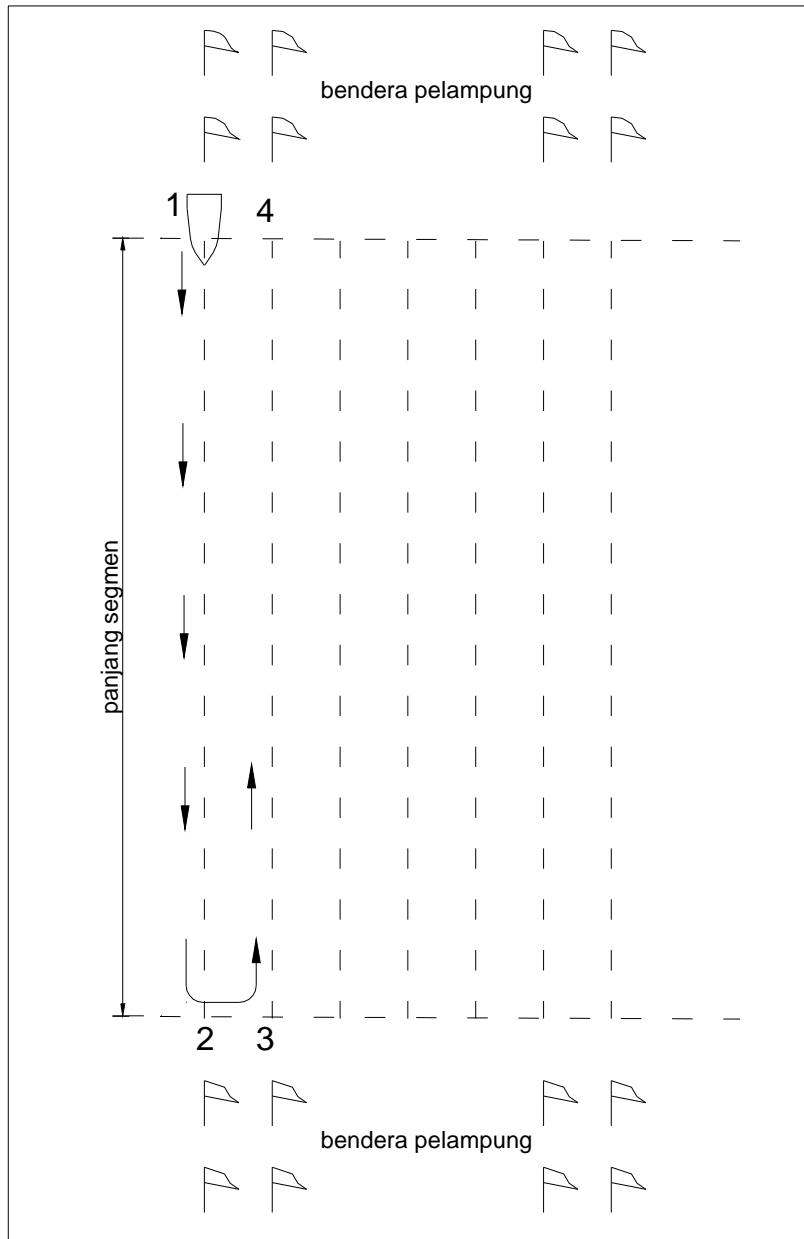
Pengerukan dilakukan dengan cara bertahap, yaitu :

1. Tahap I : Dregding hingga elevasi -3.00 mLWS (sedalam 4,5m).
2. Tahap II : Dregding hingga elevasi -8.20 mLWS (sedalam 5,2m).

Mula – mula panjang alur yang akan dikeruk dibagi menjadi beberapa segmen. Pada ujung alur diberi tanda – tanda (bendera pelampung). Pembagian antara tanda – tanda tersebut antara (1.50 – 3.00) m, (lihat gambar 8.1). kapal keruk diletakkan pada posisi 1, kemudian jangkar diturunkan dan segera dilakukan pengerukan sesuai garis lurus ke arah titik 2, dimana pada titik 2 ini kapal keruk akan berimpit dengan tanda bendera pelampung. Hasil pengerukan ditampung oleh bak/kapal penampung pengerukan yang berada pada segmen yang bersebelahan. Pada saat pengerukan di posisi 1 menuju ke arah 2 dilakukan juga pengukuran kedalaman agar sesuai dengan kedalaman rencana.

Dari titik 2 kapal keruk menuju ke titik 3 dan kemudian melakukan pengerukan ke arah titik 4 dengan cara yang sama seperti pada segmen sebelumnya. (Gambar 7.11). Pekerjaan pengerukan ini berlanjut sedemikian sehingga meliputi semua bagian segmen diselesaikan sehingga tercapai kedalaman dan lebar alur ataupun kolam labuh yang sesuai dengan rencana.

Perlu diingat bahwa pada saat bak/kapal penampung hasil pengerukan telah mencapai muatan maksimum, maka hasil pengerukan tersebut harus dibuang ke lokasi pembuangan rencana, yaitu di laut. Lokasi yang dipilih ini haruslah cukup dalam sehingga tidak akan berpengaruh pada kedalaman yang diperlukan kapal – kapal untuk berlalu lintas.



Gambar 7.11. Metode pelaksanaan pengerukan

7.4.6. Pelaksanaan Pekerjaan Pengerukan

Berdasarkan hasil analisa pada Bab 7 diketahui bahwa type kapal keruk yang sesuai untuk kondisi kolam pelabuhan TNI – AL kecamatan Semampir ini adalah type Backhoe dredger yang merupakan pontoon yang dipasangi alat pemindah tanah yang berupa backhoe.

Pekerjaan pengerukan dengan menggunakan backhoe dredger dibantu dengan kapal pandu yang akan mengatur pergerakan alat keruk selama di perairan. Selain itu disediakan juga pontoon untuk menampung material kerukan untuk diangkut ke darat. Selama pengerukan backhoe dredger harus melalui rute yang teratur yaitu dari arah pantai menuju ke laut dan selalu dipantau dengan theodolit, hal ini akan memudahkan pekerjaan pengerukan dan juga memudahkan dalam monitoring volume pengerukan.

Perhitungan besarnya volume pengerukan diketahui dengan bantuan *Autocad 2000*. Lihat Gambar 7.12. Dari gambar tersebut dapat diperoleh luasan tiap segmen adalah sebagai berikut :

$$A_I = 383,6350 \text{ m}^2$$

$$A_{II} = 241,0450 \text{ m}^2 +$$

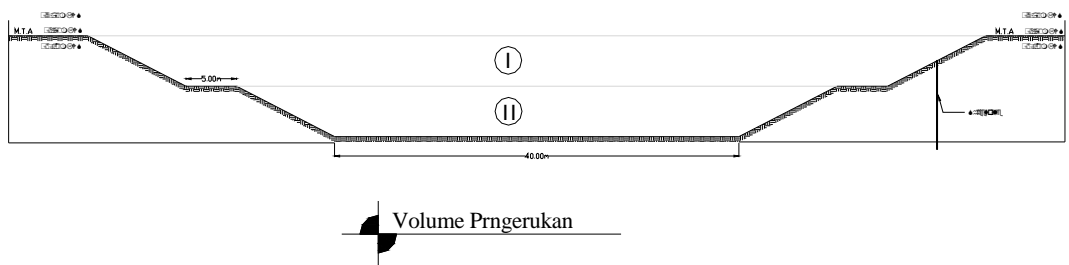
$$\hline \Sigma A = 624,6800 \text{ m}^2$$

Sehingga volume pengerukan =

$$\text{Tahap I} = 383,6350 \times 135 = 51790,725 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahap II} = 241,0450 \times 135 = 32540,075 \text{ m}^3 +$$

$$\hline \Sigma A = 84331,800 \text{ m}^3$$



Gambar 7.12. Volume Pengerukan

Diketahui bahwa produktivitas backhoe dredger adalah $82,154 \text{ m}^3/\text{jam}$. Jika selama pelaksanaan pekerjaan pengerukan jam kerja efektif adalah 10 jam/hari, maka waktu pengerukan untuk pekerjaan pengerukan adalah

$$= \text{volume kerukan} / (\text{Produktifitas} * 8)$$
$$= 84331,800 / (82,154 * 10) = 102,651 \text{ hari} \approx 103 \text{ hari.}$$

7.4.7. Pekerjaan Pembuangan Material Kerukan

Material buangan dari hasil pengerukan pada graving dock, secara bertahap dibuang di sisi - sisi sebelah luar galian. Sementara hasil pengerukan di sisi pintu masuk dock dibuang ke laut dengan jarak yang cukup jauh, agar kedalaman alur masuk pintu dock tidak mengalami pendangkalan.

Lokasi pembuangan dapat berada di tengah laut atau di tepi pantai., pemilihan lokasinya tergantung kondisi buangan dan rencana pemanfaatannya serta biaya yang ditimbulkan.

Posisi buangan di laut harus berada pada lokasi yang tidak menyebabkan kerusakan lingkungan maupun gangguan bagi lalu lintas laut, disamping itu harus dicari tempat yang tidak memungkinkan material terbawa arus kembali lokasi kerukan yang nantinya dapat menyebabkan pendangkalan serta mengganggu alur pelayaran. Namun dilain pihak harus tetap dalam jarak terjangkau sehingga tidak terlalu menyebabkan biaya operasional meningkat drastis.

Untuk itu biasanya lokasi berada pada kedalaman minimal - 25 m LWS dan sejarak minimal 10 km dari lokasi kerukan.

Pelaksanaan pembuangan harus hati-hati supaya limbah material yang tercecer atau tumpah tidak merusak ekosistem sekitarnya. Dan metode pelaksanaan dengan membuat petak-petak kolam dibatasi tanggul-tanggul dapat menjadikan timbunan tidak terpisah antara lapisan materail halus dengan yang lebih kasar.

7.5. DEWATERING

Dewatering adalah pekerjaan pemompaan air laut sampai muka air tertingginya surut sampai kedalaman yang diinginkan, agar kolam perairan dapat dijadikan areal kerja. Dewatering dilakukan dengan menggunakan metode sumur hisap (well point) yang dibangun keliling pada sisi sebelah luar graving dock. Sistem ini terdiri dari barisan sumur hisap yang sangat rapat di sekitar lokasi dewatering. Sistem ini mengeluarkan air laut keluar melalui pipa berdiameter kecil yang dipancang ke dalam tanah kemudian menggunakan pompa air pada puncak pipa untuk menarik air keluar dari sekitar pipa ke dalam sistem tersebut. Pemasangan pompa diletakkan pada sisi terluar kolam galian.

7.6. PEMANCANGAN TIANG PANCANG

Dalam pekerjaan pemancangan, tiang pancang yang dipakai ϕ 60 cm WIKA kelas A1, dimana panjang tiang yang dibutuhkan adalah 22 m (1 batang @12 m dan 1 batang @10 m). Pemancangan dilakukan dengan 2 ponton, dan 1 (satu) buah hydraulic hammer yang berada diatas salah satu ponton. Maksud dari pemakaian 2 (dua) buah ponton adalah 1 ponton sebagai untuk pemancangan dan satunya sebagai ponton crane untuk pengambilan tiang pancang dari areal penumpukan ke ponton pancang (lihat Gambar 7.13.dan Gambar 7.14).



Gambar 7.13. Ponton Pancang dan Ponton Crane



Gambar 7.14. Penumpukan Tiang Pancang

Pertama-tama ponton crane mengambil tiang pancang yang berada pada areal penumpukan, dan kemudian memindahkan tiang pancang dari ponton crane ke ponton pancang, lalu kemudian dilaksanakan pemancangan.

Pada saat pemancangan, langkah-langkah pekerjaan yang dilakukan adalah ponton pancang diarahkan ke titik yang dituju, dengan bantuan alat teodolit untuk menentukan ketepatan titik dan

kelurusan tiang. Setelah semuanya sesuai, tali pengikat tiang pada hydraulic hammer dikendorkan sehingga tiang pancang akan turun sampai seabed dan diukur kembali ketepatannya dengan teodolit. Apabila sudah sesuai kembali, baru mulai dipancang dengan hydraulic hammer sampai kedalaman yang direncanakan (lihat Gambar 7.15). Untuk kepastian pemberhentian pemancangan, pada pemancangan $\frac{1}{4}$ tiang terakhir dilakukan kalendering, apabila $S_{rencana} > S_{lapangan}$, pemancangan dapat dihentikan.

Langkah - langkah ini dilakukan sampai semua tiang pancang perencanaan terpancang pada posisinya.

Setelah beberapa tiang pancang selesai dipancang, dapat dilakukan pemotongan tiang pancang yang berlebih dengan menggunakan *hammer ban* sampai pada elevasi tiang yang direncanakan. Apabila pemotongan tiang sudah selesai semua, pekerjaan selanjutnya adalah pengerjaan poer.



Gambar 7.15. Pemancangan Tiang Pancang



Gambar 7.16. Penyambungan Tiang Pancang.

7.7. PENGECORAN GRAVING DOCK

Metode pelaksanaan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah menggunakan sistem cast in situ.

- a. Masa pra konstruksi
 - Pembersihan area/lapangan tempat kerja.
 - Persiapan pengadaan perancah/penyangga bekisting
 - Pembuatan bekisting dan pemotongan tulangan yang sesuai dengan dimensi rencana.
 - Tenaga kerja yang harus terampil dan harus telah dipersiapkan untuk pengecoran dermaga cast in situ. Pengawasan pekerjaan haruslah ketat untuk mencapai mutu beton yang sesuai rencana.
- b. Masa konstruksi
 - Pemasangan bekisting beserta penataan tulangan – tulangan sesuai dengan desain rencana.
 - Pengecoran dermaga. Pada saat pengecoran ini harus dilakukan secara cermat dan di bawah pengawasan yang ketat sehingga dapat dicapai mutu beton sesuai rencana.

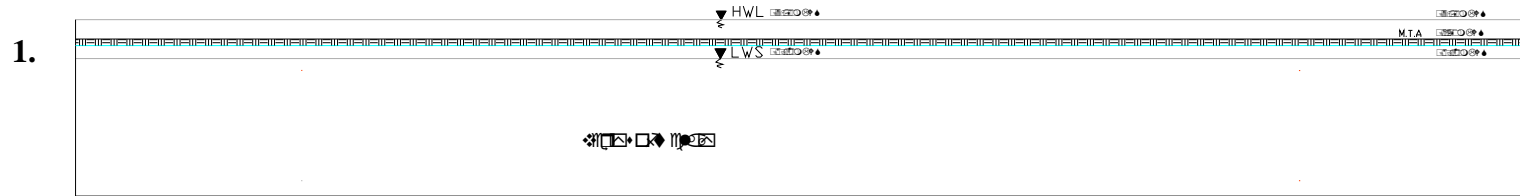
- Perawatan setelah pengecoran. Dilakukan curing minimal tujuh sampai sepuluh hari.
- c. Masa pasca konstruksi
- Pelepasan bekisting
 - Pembersihan lokasi kerja.

Beberapa hal yang harus mendapat perhatian dalam pengecoran antara lain :

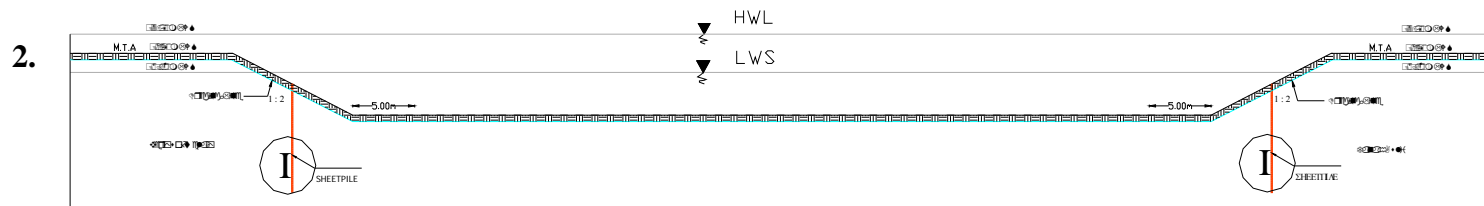
- Pelaksanaan pekerjaan hendaklah tidak dilakukan pada musim penghujan. Hal ini bertujuan agar beton dapat mengering secara sempurna dan untuk berbagai item pekerjaan dapat dilakukan tanpa banyak kesulitan.
- Decking harus diawasi secara teliti sedemikian sehingga dapat memenuhi syarat minimal decking. Hal ini untuk mengantisipasi apabila pelaksanaan pekerjaan pengecoran tidak sempurna yang akan mengakibatkan retak. Retak pada struktur di daerah dermaga akan sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada tulangan.
- Oleh karena itu harus selalu dilakukan kontrol retak pada saat konstruksi maupun masa pasca konstruksi.

Untuk lebih jelasnya, urutan pemasangan sheetpile dan pemancangan tiang pancang akan disajikan dalam bentuk skema, yang akan dibahas pada *Sub-Bab* berikutnya.

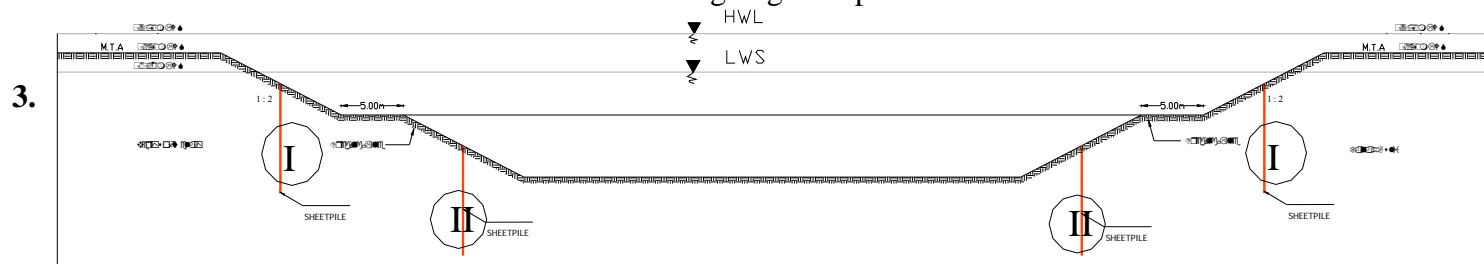
7.7. SKEMA URUTAN/ TAHAPAN PEMASANGAN SHEETPILE DAN TIANG PANCANG.



Gambar 7.17. Kondisi Tanah Existing

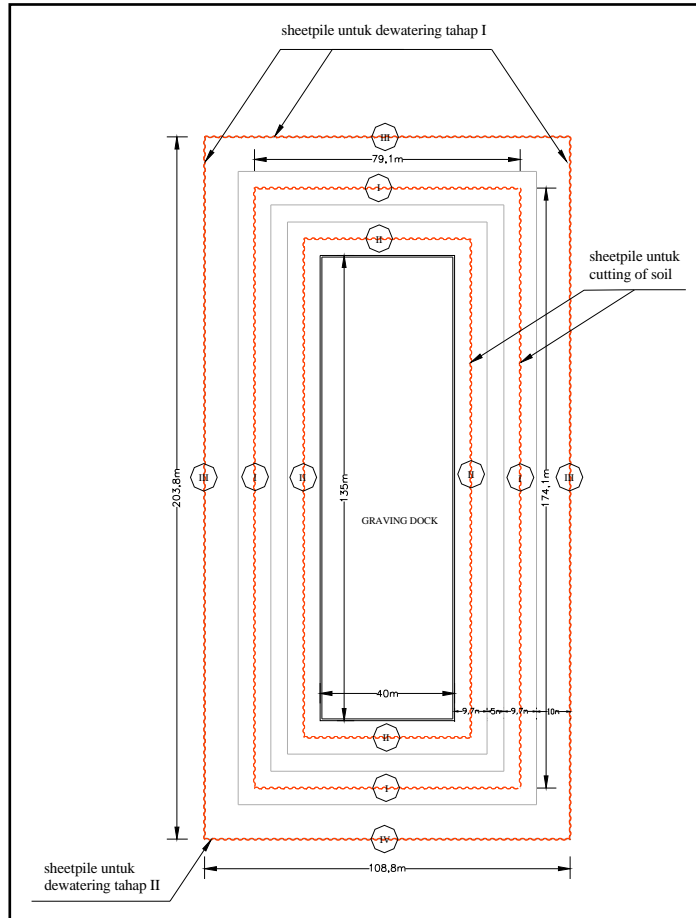


Gambar 7.18. Dredging Tahap I



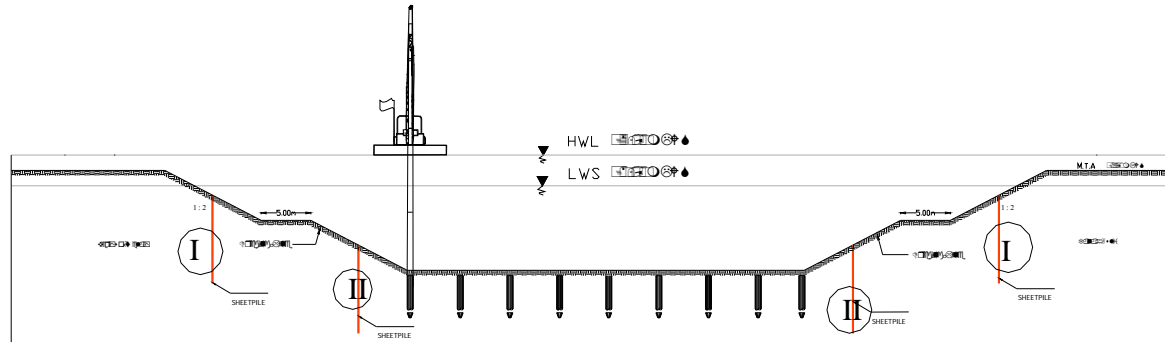
Gambar 7.19. Dredging Tahap II

4.



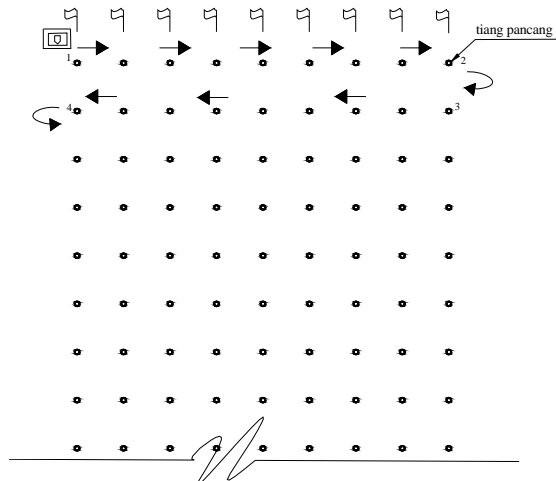
Gambar 7.20. Lay Out Cutting of Soil

5.



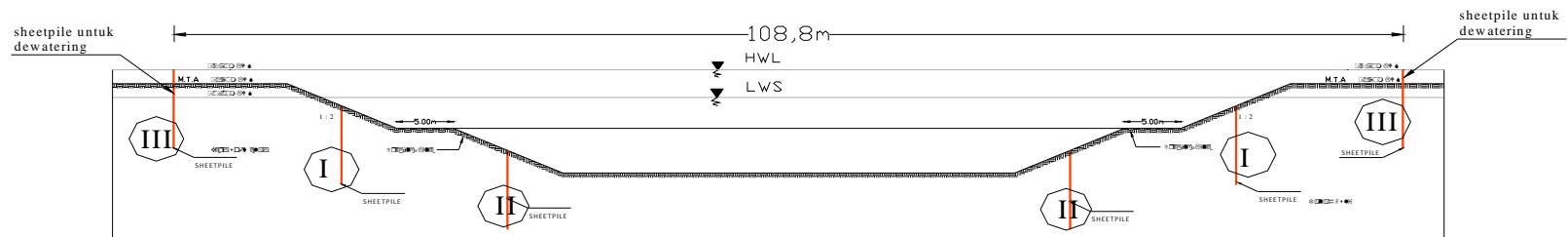
Gambar 7.21. Pemancangan Tiang Pancang

6.



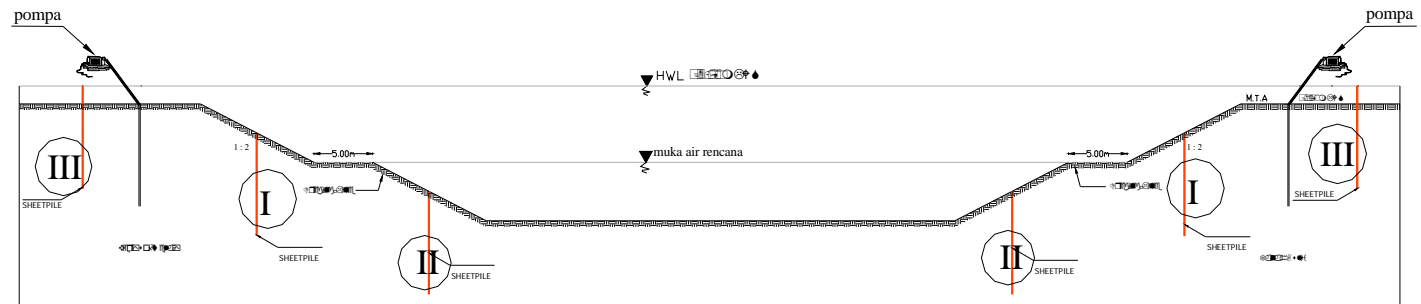
Gambar 7.22.. Urutan Pemancangan Tiang Pancang

7.



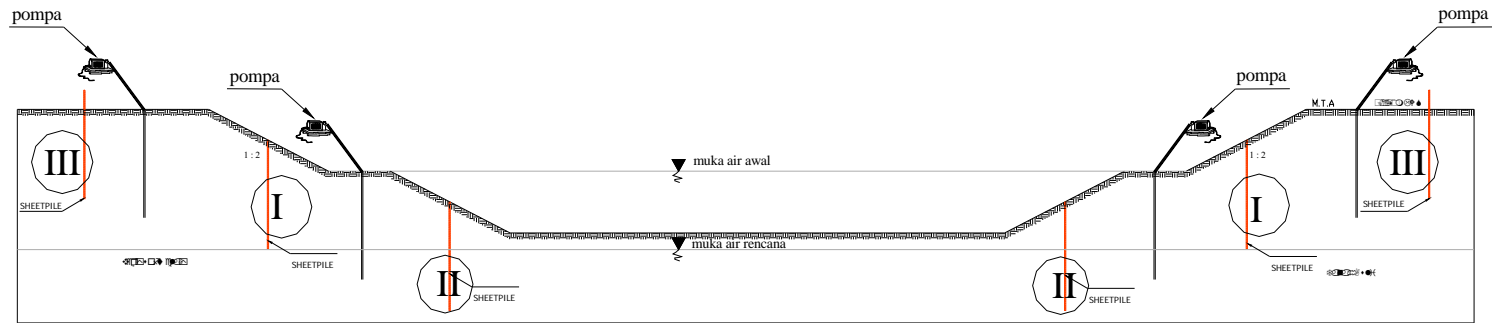
Gambar 7. 23. Pemancangan sheetpile untuk dewatering.

8.



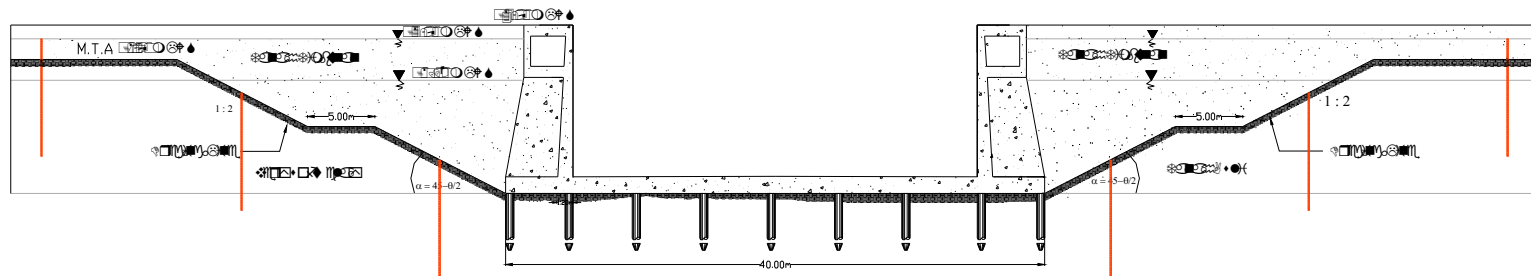
Gambar 7.24. Dewatering Tahap I.

9.



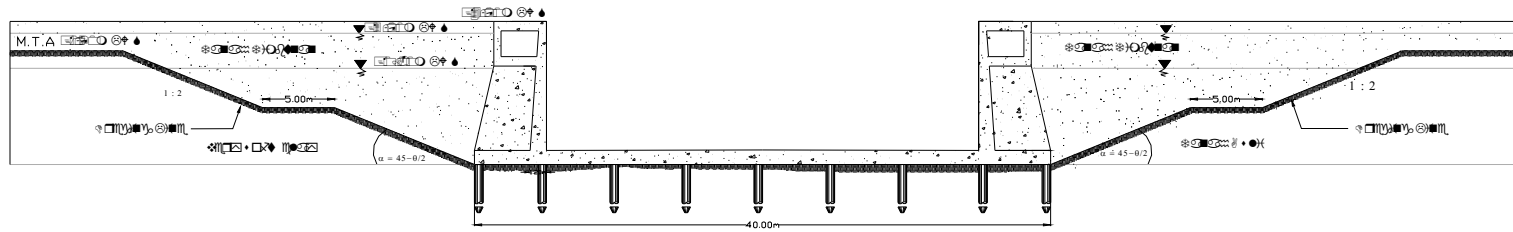
Gambar 7.25. Dewatering Tahap II.

10.



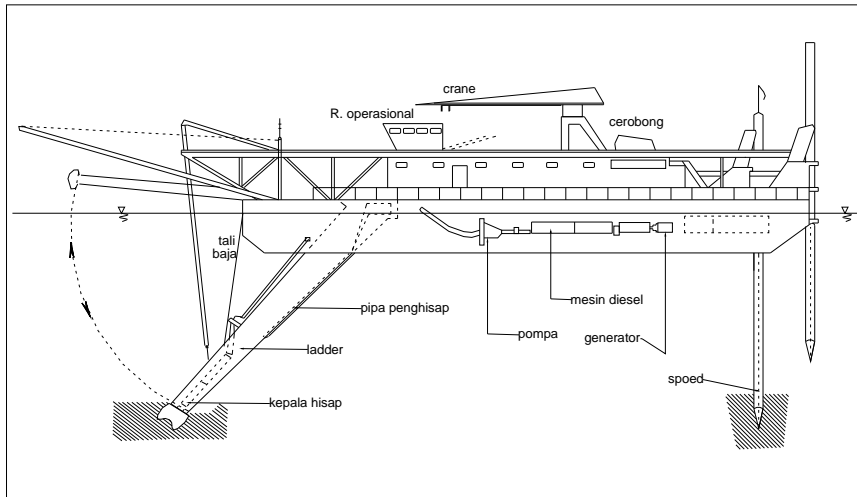
Gambar 7.26. Pengeroran Graving Dock dan Pekerjaan Urugan

11.



Gambar 7.27. Pencabutan Steel Sheetpile

Gambar 7.1. Pemasangan patok kayu.....	245
Gambar 7.2. Alat Teodolit.....	245
Gambar 7.3. Penumpukan sheetpile	246
Gambar 7.4. Pekerjaan Pemancangan Sheetpile	247
Gambar 7.5. Kapal tipe <i>clamshell dredger</i>	251
Gambar7.6. Kapal tipe <i>dipper dredger</i>	252
Gambar7. 7. Kapal tipe <i>backhoe dredger</i>	253
Gambar 7.8. Kapal tipe <i>bucket dredger</i>	254



Gambar 7.9. Kapal tipe <i>dust pan dredger</i>	256
Gambar 7.10. Kapal <i>suction dredger</i>	256
Gambar 7.11. Metode pelaksanaan pengerukan.....	260
Gambar 7.12. Volume Pengerukan	261
Gambar 7.13. Ponton Pancang dan Ponton Crane.....	264
Gambar 7.14. Penumpukan Tiang Pancang.....	264
Gambar 7.15. Pemancangan Tiang Pancang	265
Gambar 7.17. Kondisi Tanah Existing	268
Gambar 7.18. Dregding Tahap I.....	268
Gambar 7.19. Dregding Tahap II.....	268
Gambar 7.20. Lay Out Cutting of Soil	269
Gambar 7.21. Pemancangan Tiang Pancang	270
Gambar 7.22.. Urutan Pemancangan Tiang Pancang	270
Gambar7. 23. Pemancangan sheetpile untuk dewatering.....	271
Gambar 7.24. Dewatering Tahap I.	271
Gambar 7.25. Dewatering Tahap II.....	272
Gambar 7.26. Pengecoran Graving Dock dan Pekerjaan Urugan	272
Gambar 7.27. Pencabutan Steel Sheetpile	273

BAB VIII

ANALISA BIAYA

8.1. Umum

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai rincian biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan graving dock di TNI –AL kecamatan Semampir, Surabaya.

8.2. Harga Material Dan Upah

Harga satuan material dan upah diperoleh dari ” Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi & Interior Edisi XXII Th 2004. Rincian harga material, upah, dan harga sewa peralatan disajikan dalam bentuk Tabel. (Lihat Tabel 8.1, Tabel 8.2, dan Tabel 8.3).

Tabel 8.1.. Harga Satuan Material dan Upah

NO	E L E M E N B I A Y A	Satuan	H arga per - unit (Rp.)	K E T.
1	2	3	4	5
1	BAHAN / MATERIAL ALAM			
	Aspal bitumen	kg	1.780,00	
	Batu belah 10 - 15 cm	m3	37.500,00	
	Batu belah 5 - 7 cm	m3	43.000,00	
	Batu belah 3 - 5 cm (stone crusher)	m3	50.000,00	
	Batu belah 2 - 3 cm (stone crusher)	m3	55.000,00	
	Batu belah 1 - 2 cm (stone crusher)	m3	65.000,00	
	Batu belah 0,5 - 1 cm (stone crusher)	m3	68.000,00	
	Kerikil pecah tersaring	m3	72.000,00	
	Batu Bata	bh	250,00	
	Pasir ayak untuk beton	m3	40.000,00	
	Pasir pasang	m3	37.500,00	
	Pasir urug timbunan	m3	35.000,00	
	Sirtu	m3	42.000,00	

	Tanah urug (timbunan pilihan)	m3	15.000,00	
	Semen (PC)	zak	55.000,00	
2	MATERIAL BESI & B A J A			
	Besi beton Ulir U.39	kg	6.500,00	
	Besi beton Ulir U.32	kg	6.000,00	
	Besi beton Polos U.24	kg	5.500,00	
	Wire Mesh U.39	kg	20.000,00	
	Kawat Bendrat	kg	7.500,00	
	Paku	kg	15.300,00	
	Baja Profil	kg	4.030,00	
	Plat Baja	kg	8.000,00	
	Besi beton	kg	6.750,00	
	Kawat beton	kg	6.500,00	
	kawat las	kg	20.000,00	
3	MATERIAL KAYU			
	Kayu papan kelas I	m3	7.700.000,00	
	Kayu papan kelas II	m3	2.350.000,00	
	Kayu balok kelas I	m3	5.500.000,00	
	Kayu balok kelas II	m3	2.200.000,00	
	Kayu untuk perancah	m3	990.000,00	
	Multipleks 12 mm	lbr	232.200,00	
<i>Sumber: Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi & Interior” Edisi XX Th 2003</i>				

Tabel 8.2.Harga Satuan Upah

NO	ELEMEN BIAYA	Satuan	Harga per - unit (Rp.)	K E T.
1	2	3	4	5
-	Mandor	jam	25.000,00	
-	Pekerja	jam	15.000,00	
-	Tukang/Pekerja ahli	jam	20.000,00	
-	Operator	jam	30.000,00	
-	Pembantu operator	jam	22.000,00	
-	Kepala Tukang	jam	25.000,00	
-	Tukang Las	jam	100.000,00	
-	Penyelam	jam	55.000,00	
-	Sopir/masinis	jam	20.000,00	
-	Upah kerja & pemakaian alat	jam	120.000,00	
<i>Sumber: Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi & Interior” Edisi XX Th 2003</i>				

Tabel 8.3.Harga Satuan Sewa Peralatan

NO	ELEMEN BIAYA	Satuan	H arga per - unit (Rp.)	K E T.
1	2	3	4	5
1	PERALATAN			
	Truk Trailer kap. 30 ton	jam	161.300,00	
	Truk Tronton kap. 20 ton	jam	118.200,00	
	Backhoe	jam	295.000,00	
	Dump Truck kap. 10 ton	jam	92.900,00	
	Theodolit	jam	67.500,00	
	Excavator / Motor grader	jam	118.800,00	
	Buldozer	jam	104.400,00	
	Compressor	jam	39.400,00	
	Concrete Vibrator	jam	27.000,00	
	Concrete Pump	jam	95.200,00	
	Concrete mixer	jam	50.000,00	
	Anchor Boat	jam	287.400,00	
	Work / Survey Boat	jam	47.100,00	
	Ponton 1.000 ton	jam	840.200,00	
	Ponton 300 ton	jam	143.000,00	
	Gantry Crane 15 ton	jam	57.000,00	
	Crawler Crane 25 ton	jam	199.900,00	
	Alat bantu crane	jam	200.000,00	
	Hammer Diesel	jam	1.492.000,00	
	Generator 150 KVA	jam	90.200,00	
	LCT 600 TON	jam	427.400,00	
	Pompa	jam	100.000,00	
2	LAIN -LAIN			
	Gemuk/grease	ltr	20.000,00	
	Solar	ltr	5.000,00	
	Oli	ltr	20.000,00	
	Cat Anti Karat	ltr	57.000	
	Minyak Cat	ltr	23.500	
	Sheet pile Baja Profil YSP II	ltr	2.575.000,00	
	Tiang Pancang Beton D-60cm	m	1.775.000,00	

Sumber: Jurnal Harga Satuan Bahan Bangunan, Konstruksi & Interior” Edisi XX Th 2003

8.3. Analisa Harga Satuan

Perhitungan analisa harga satuan mencakup 5 hal pokok, yaitu :

1. Material
2. Tenaga Kerja
3. Peralatan
4. Biaya Tak Terduga
5. Profit / Keuntungan

Perincian analisa harga satuan graving dock dapat diperiksa pada Tabel

8.4 berikut ini:

Tabel 8.4. Analisa Harga Satuan

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	1m³ BETON fc' 300 MPA (K300)				
-	BAHAN				
	Semen	11,80	sak	55.000,00	649.000,00
	Batu pecah 1 -2 cm (stone crusher)	0,80	m3	65.000,00	52.000,00
	Pasir	0,42	m3	40.000,00	16.800,00
-	UPAH				
	Pekerja	24,00	orang/hari	15.000,00	360.000,00
	Mandor	4,00	orang/hari	25.000,00	100.000,00
	Kepala mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
-	PERALATAN				
	Concrete mixer	0,50	alat/jam	50.000,00	25.000,00
	Concrete vibrator	0,17	alat/jam	27.000,00	4.500,00
	alat bantu	1,00	ls	100.000,00	100.000,00
HARGA SATUAN					1.332.300,00

2 10 M² BEKISTING

- BAHAN

Kayu Multipleks (t=12mm)	3,50	lbr	232.200,00	812.700,00
Paku	4,00	kg	15.300,00	61.200,00

- UPAH

Pekerja	16,00	orang/hari	15.000,00	240.000,00
Tukang	6,00	orang/hari	20.000,00	120.000,00

Mandor	0,50	orang/hari	25.000,00	12.500,00
HARGA SATUAN			1.246.400,00	
3 100 KG PEMBESIAN				
- BAHAN				
Besi beton	110,00	kg	6.750,00	742.500,00
Kawat bendrat	2,00	kg	7.500,00	15.000,00
- UPAH				
Pekerja	5,00	orang/hari	15.000,00	75.000,00
Tukang	5,00	orang/hari	20.000,00	100.000,00
Mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
- PERALATAN				
Alat Bantu	1,00	ls	5.000,00	5.000,00
HARGA SATUAN			962.500,00	
4 1 M3 Pengerukan Kolam Pelabuhan				
- ALAT				
Backhoe	3,00	alat/jam	295.000,00	885.000,00
Ponton	2,00	alat/jam	840.200,00	1.680.400,00
Work Boat	2,00	alat/jam	47.100,00	94.200,00
Dump truck	3,00	alat/jam	92.900,00	278.700,00
- UPAH				
Operator	2,00	orang/hari	30.000,00	60.000,00
<i>Produksi Alat Keruk per jam (m³)</i>	82,154			
HARGA SATUAN			36.496,09	
5 1 M PEMANCANGAN SHEETPILE				
- BAHAN				
Sheetpile YSP II	1,00	m'	2.575.000,00	2.575.000,00
- UPAH				
Pekerja	0,80	orang/hari	15.000,00	12.000,00
Tukang	0,50	orang/hari	20.000,00	10.000,00
Mandor	0,25	orang/hari	20.000,00	5.000,00
Operator	0,50	orang/hari	30.000,00	15.000,00
- ALAT				
Alat Pancang Crane + Hammer Diesel	0,10	alat/jam	1.492.000,00	149.200,00

Theodolit	0,05	alat/jam	67.500,00	3.375,00
Ponton	0,10	alat/jam	840.200,00	84.020,00
Survey boat	0,20	alat/jam	47.100,00	9.420,00
Solar	200,00	ltr	5.000,00	1.000.000,00
Gemuk/grease	5,00	ltr	20.000,00	100.000,00
Resiko pemancangan	1,00	ls	1287500	1.287.500,00

HARGA SATUAN

5.250.515,00

6 PEMOTONGAN SHEETPILE

- UPAH

Pekerja	0,10	org/jam	15.000,00	1.500,00
Tukang	0,10	org/jam	20.000,00	2.000,00
Mandor	0,05	org/jam	25.000,00	1.250,00

- ALAT

Alat bantu	0,10	ls	100.000,00	10.000,00
------------	------	----	------------	-----------

HARGA SATUAN

14.750,00

**7 1 M PEMANCANGAN
TIANG PANCANG**

- BAHAN

Tiang pancang beton D60

- UPAH

Mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
Operator	4,00	orang/hari	30.000,00	120.000,00
Pembantu operator	3,00	orang/hari	22.000,00	66.000,00
Pekerja	6,00	orang/hari	15.000,00	90.000,00

- ALAT

Crane	1,00	jam	57.000,00	57.000,00
Solar	50,00	ltr	5.000,00	250.000,00
Gemuk/grease	2,00	ltr	20.000,00	40.000,00
Resiko pemancangan	1,00	ls	1287500	1.287.500,00
Anchor boat	5,00	alat/jam	287.400,00	1.437.000,00
Work boat	5,00	alat/jam	47.100,00	235.500,00
Generator 150 kV	2,00	alat/jam	90.200,00	180.400,00
Alat bantu	1,00	ls	50.000,00	50.000,00

Dalam satu hari pemancangan (60m')

Biaya pemancangan 1m tiang

HARGA SATUAN

63.973,33

**8 PENYAMBUNGAN DAN
PENGELASAN
TIANG PANCANG**

-	<u>UPAH</u>				
	Pekerja	3,32	orang/hari	15.000,00	49.800,00
	Mandor	0,07	orang/hari	25.000,00	1.750,00
	Tukang las	1,54	orang/hari	100000	154.000,00
	Kepala tukang	0,5	orang/hari	25.000,00	12.500,00
-	<u>ALAT</u>				
	Kawat las	5,00	kg	20.000,00	100.000,00
	Alat bantu	1,00	ls	50.000,00	50.000,00
	Solar	10,00	ltr	5.000,00	50.000,00

HARGA SATUAN

418.050,00

9 PENGANGKATAN TIANG PANCANG

-	<u>UPAH</u>				
	Mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
	Operator	5,00	orang/hari	30.000,00	150.000,00
	Pembantu operator	4,00	orang/hari	22.000,00	88.000,00
	Supir	2,00	orang/hari	20.000,00	40.000,00
-	<u>ALAT</u>				
	Gantry Ccrane	0,10	alat/jam	57.000,00	5.700,00
	Crawler crane	0,20	alat/jam	199.900,00	39.980,00
	Ponton 1000ton	0,50	alat/jam	840.200,00	420.100,00
	Anchor boat	0,20	alat/jam	287.400,00	57.480,00
	Work boat	0,10	alat/jam	47.100,00	4.710,00
	Truk trailer	0,10	alat/jam	161.300,00	16.130,00
	Alat bantu	1,00	ls	50.000,00	50.000,00

Dalam satu hari pemancangan (60m')

Biaya pemancangan 1m tiang

HARGA SATUAN

14.951,67

10 PENGELASAN PINTU

-	<u>UPAH</u>				
	Tukang las	4,00	orang/hari	100.000,00	400.000,00
	Pekerja	4,00	orang/hari	15.000,00	60.000,00
	Mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
	Kepala tukang	0,50	orang/hari	25.000,00	12.500,00
-	<u>BAHAN</u>				
	Plat baja	1,00	kg	8.000,00	8.000,00
	Cat anti karat	2,00	ltr	57.000,00	114.000,00
	Baja profil	1,00	kg	4.030,00	4.030,00
-	<u>ALAT</u>				
	Kawat las	1,00	kg	20.000,00	20.000,00

Alat bantu	1,00	ls	50.000,00	50.000,00
HARGA SATUAN				693.530,00
-				
11 1M³ SELIMUT BETON				
- <u>BAHAN</u>				
Beton	1,00	m ³	1.332.300,00	1.332.300,00
Besi beton	0,72	kg	6.500,00	4.680,00
Alat bantu	1,00	ls	10.000,00	10.000,00
HARGA SATUAN				1.346.980,00
-				
12 1M³ BETON BERTULANG PENGISI TIANG PANCANG				
- <u>BAHAN</u>				
Beton	0,10	m ³	1.332.300,00	133.230,00
Alat bantu	0,80	kg	50.000,00	40.000,00
Besi beton	1,00	ls	6.750,00	6.750,00
HARGA SATUAN				179.980,00
-				
13 1M³ PEKERJAAN PEMOMPAAN				
- <u>ALAT</u>				
Pompa	3,00	alat/jam	100.000,00	300.000,00
Work boat	2,00	alat/jam	47.100,00	94.200,00
Alat bantu	1,00	ls	50.000,00	50.000,00
- <u>UPAH</u>				
Pekerja	4,00	orang/hari	15.000,00	60.000,00
Operator	2,00	orang/hari	30.000,00	60.000,00
Mandor	1,00	orang/hari	25.000,00	25.000,00
HARGA SATUAN				589.200,00
-				
14 TIMBUNAN				
- <u>BAHAN</u>				
Pasir urug	1,50	m ³	35.000,00	52.500,00
- <u>UPAH</u>				
Pekerja	2,00	Orang/jam	15.000,00	30.000,00
Tukang	3,00	Orang/jam	20.000,00	60.000,00
Mandor	1,00	Orang/jam	45.000,00	45.000,00
- <u>ALAT</u>				
Buldozer	2,00	Alat/jam	104.400,00	208.800,00

Dump truk	4,00	Alat/jam	92.900,00	371.600,00
Excavator	1,00	Alat/jam	118.800,00	118.800,00
HARGA SATUAN				886.700,00

8.4. Rencana Anggaran Biaya Graving Dock

Dalam rencana anggaran biaya, tahapan pekerjaan yang dihitung adalah :

1. Pekerjaan persiapan
2. Pekerjaan galian
3. Pekerjaan tiang pancang
4. Pekerjaan struktur graving dock
5. Pekerjaan lain.

Break down pelaksanaan pekerjaan graving dock, berikut dengan rencana anggaran biayanya akan disajikan pada Tabel 8.5.

Tabel 8.5. Rencana Anggaran Biaya

No.	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
I PEKERJAAN PERSIAPAN					
1	Pembersihan lahan	1	ls	8.000.000,00	8.000.000,00
2	Survey dan pengukuran	1	ls	15.000.000,00	15.000.000,00
3	Mobilisasi dan demobilisasi	1	ls	50.000.000,00	50.000.000,00
4	Direksi keet	1	ls	45.000.000,00	45.000.000,00
5	Gudang	1	ls	15.000.000,00	15.000.000,00
6	Penerangan	1	ls	5.000.000,00	5.000.000,00
7	Pemasangan bow plank	1	ls	500.000,00	500.000,00
8	Asuransi dan P3K	1	ls	2.000.000,00	2.000.000,00
SUB TOTAL I					140.500.000,00
II PEKERJAAN GALIAN					
1	Pengerukan Kolam Pelabuhan	84331,8	m ³	36.496,09	3.077.781.190,69
2	Predredge dan Postdredge Sounding	80000	m ²	100.000,00	8.000.000.000,00
3	Dewatering	170598,4	m ³	589.200,00	100.516.577.280,00
4	Pemancangan sheetpile	3442,5	m	5.250.515,00	18.074.897.887,50
5	Pemotongan sheetpile	202	buah	14.750,00	2.979.500,00

SUB TOTAL II				11.077.781.190,69	
III	PEKERJAAN TIANG PANCANG				
1	Pemancangan tiang pancang	4532	m'	63.973,33	289.927.146,67
2	Pemotongan tiang pancang	206	buah	418.050,00	86.118.300,00
3	Pengelasan tiang pancang	103	buah	14.951,67	1.540.021,67
4	Pengisian tiang pancang	206	buah	179.980,00	37.075.880,00
5	Pengangkatan tiang pancang	4532	m'	14.951,67	67.760.953,33
SUB TOTAL III				482.422.301,67	
IV	PEKERJAAN STRUKTUR GRAVING DOCK				
1	Pekerjaan plat t=20cm	624	m ³	1.332.300,00	831.355.200,00
2	Pekerjaan balok melintang (50 x 80 cm)	129,6	m ³	1.332.300,00	172.666.080,00
3	Pekerjaan balok memanjang (50 x 80 cm)	416	m ³	1.332.300,00	554.236.800,00
4	Pekerjaan balok tegak (50 x 80)	518,4	m ³	1.332.300,00	690.664.320,00
5	Pekerjaan dinding	1944,8	m ³	1.332.300,00	2.591.057.040,00
6	Pekerjaan lantai t = 120cm	6480	m ³	1.332.300,00	8.633.304.000,00
7	Pekerjaan counterfort	1716,976	m ³	1.332.300,00	2.287.527.124,80
8	Selimut beton	556	m ³	1.346.980,00	748.920.880,00
9	Pembesian	210	m ³	962.500,00	202.125.000,00
10	Bekisting	540	m ³	1.246.400,00	673.056.000,00
SUB TOTAL IV				17.384.912.444,80	
V	PEKERJAAN LAIN -LAIN				
1	Pekerjaan pintu	245,52	m ³	693.530,00	170.275.485,60
2	Pekerjaan urugan	56414,61	m ³	886.700,00	50.022.834.687,00
SUB TOTAL V				50.193.110.172,60	
Jumlah Total				79.278.726.109,76	
PPn 10 %				7.927.872.610,98	
Total + PPn				87.206.598.720,73	
Pembulatan jumlah akhir				88.500.000.000,00	

Tabel 8.1.. Harga Satuan Material dan Upah.....	274
Tabel 8.2.Harga Satuan Upah	275
Tabel 8.3.Harga Satuan Sewa Peralatan	276
Tabel 8.4. Analisa Harga Satuan.....	277
Tabel 8.5.. Rencana Anggaran Biaya.....	282

BAB IX

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab – bab sebelumnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapal yang direncanakan untuk graving dock ini adalah kapal perang Armatim TNI –AL dengan ukuran sebagai berikut :
 - Dead Weight Tonnage : 4000 DWT
 - Panjang kapal (Ld) : 122 m
 - Lebar (Bd) : 22 m
 - Full Draught : 4,9 m
2. Type graving dock yang dipilih adalah type gravity dock dengan konstruksi dinding dan lantai kedap air dengan spesifikasi :
 - Panjang = 130 m
 - Lebar = 30 m
 - Kedalaman = 11 m
 - Elevasi graving dock +4.00 mLWS
3. Struktur dermaga menggunakan *cast in situ*, dengan spesifikasi akhir sebagai berikut :
 - Tebal pelat box culvert = 20 cm
 - Balok melintang = 50 cm x 80 cm
 - Balok Memanjang = 50 cm x 80 cm
 - Balok Tegak = 50 cm x 80 cm
 - Mutu Beton = K-300
 - Mutu Baja = U-39

- Selimut beton (decking) = 7,5 cm
 - Diameter tulangan = 16 mm & 19 mm (untuk balok), 25 mm (untuk dinding), dan 32 mm (untuk lantai)
 - Tiang Pancang = WIKA PILE Φ 60 cm dan tebal 10cm
4. Biaya yang diperlukan untuk pembangunan struktur berdasarkan pada perhitungan adalah sebesar : **Rp 88.500.000.000,00**
 5. Volume Pengerukan yang diperlukan untuk perencanaan graving dock ini adalah sebesar 84331,800 m³. Peralatan yang digunakan disarankan menggunakan backhoe dredger.
 6. Sheetpile yang digunakan dalam stabilitas lereng maupun dewatering adalah Sheetpile baja dengan mutu SY 30, type YSP II dan panjang total 8,5 m atau 6 m dari muka tanah asli.
 7. Pada pekerjaan dewatering dipakai pompa EBARA model 400 SZ- 75 KW x 360/ 60 V x 3 phase x 50 Hz terkoppel diatal Base Frame dengan V-Belt kapasitas 1500 m³ / jam.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Mochtar, Indrasurya. Ir.MSc.PhD. 2000. **Diktat Kuliah Teknologi Perbaikan Tanah**, Surabaya
- Bosscher, Peter.J. 1975. **STABLE User Manual**, Madison, Winconsin.
- Bowles, Joseph. E. 1993.**Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2**, Jakarta, Erlangga
- Cornick, Henry F. 1910. **Dock and Harbour Engineering**, London, Charles Griffin& Company.
- Endah, Noor, Ir. M.Sc.Ph.D.1998.**Diktat kuliah Mekanika Tanah**,Surabaya.
- Fuddoly, Ir. M.Sc.1990.**Diktat Kuliah Teknik Pantai**,Surabaya.
- Gutentag, E.D. Kolm, K.E. Harlan, RL. 1989. **Water Well Design and Construction**, Netherlands, Elsevier Science Publiser.
- Kramadibrata, Soedjono.1985.**Perencanaan Pelabuhan**,Bandung,Ganesha Exact.
- Mazurkiewicz, B.K .1978. **Dry Dock**, Trans Tech Publications, Switzerland.
- M. Das, Braja. 1990. **Principles of Foundation Engineering**, Boston, PWS Company
- Pekerjaan Umum, Departemen.1987.**Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung**, Jakarta, Yayasan Badan Penerbit PU.
- Pekerjaan Umum, Departemen.1992.**Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian ke 2 Beban Jembatan, Bridge Management System**, Jakarta.
- Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Departemen. 1979.**Peraturan beton Bertulang Indonesia, Bandung**, Yayasan LPMB.
- Rochmanhadi, Ir. 1992. **Alat - Alat Berat dan Penggunaannya**, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum
- Streeter, Victor L.1999. **Mekanika Fluida**, Erlangga, Jakarta.
- Sutami, Ir.1971.**Konstruksi Beton Indonesia**, Jakarta , Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Todd, David Keith. PhD. 1959. **Grond Water Hydrology**, Tokya, Japan, Toppan Company

- Triatmodjo, Bambang.Dr.Ir.CES.DEA.1996.**Teknik Pantai**, Yogyakarta, Beta Offset.
- Triatmodjo, Bambang.Dr.Ir.CES.DEA.1996.**Pelabuhan**, Yogyakarta, Beta Offset.
- Wahyudi, Herman.Prof.Dr.Ir.1999.**Daya Dukung Pondasi Dangkal**, Surabaya.
- Wahyudi, Herman.Prof.Dr.Ir.1999.**Daya Dukung Pondasi Dalam**, Surabaya.
- Wahyudi, Herman.Dr.Ir.DEA.1997.**Teknik Reklamasi**, Surabaya.
- Wangsadinata, Wiratman, Ir.1979.**Perhitungan Lentur dengan cara “n” disesuaikan kepada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971**, Bandung, Yayasan LPMB.
- Widyastuti, Dyah Iriani.Ir.M.Sc.2000.**Diktat Pelabuhan**, Surabaya.