

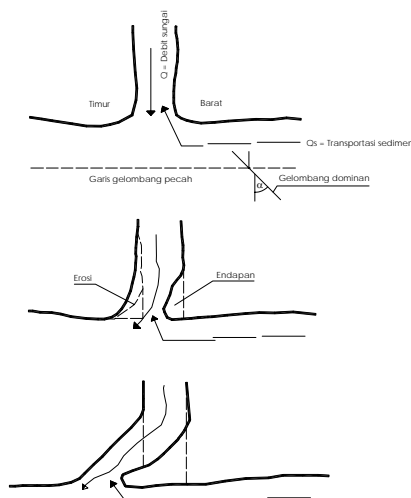
BAB VII

PERENCANAAN KONSTRUKSI BANGUNAN

7.1 ANALISA MASALAH PENUTUPAN MUARA

Permasalahan yang banyak di jumpai di muara sungai adalah pendangkalan/penutupan mulut sungai oleh transport sedimen sepanjang pantai (*longshore transport*) dan suplai sedimen dari daerah hulu yang mengalami erosi. Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Permasalahan tersebut banyak terjadi di sungai – sungai yang bermuara di pantai berpasir dengan gelombang besar, terutama jika variasi debit musimannya besar. Pendangkalan tersebut menyebabkan ketidaklancaran pembuangan debit banjir ke laut mempengaruhi luapan air di daerah hulu yang berakibat banjir. Faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya sedimentasi di muara Kali Silandak diantaranya :

1. Sedimentasi akibat proses erosi yang ada di hulu yang disebabkan oleh pengeprasan tebing guna pengembangan kawasan pemukiman dan Kawasan Industri Candi.
2. *Longshore Transport* akibat dari arus energi dan gelombang terutama dari arah Barat sampai Timur (yang utama disebabkan oleh angin Barat Laut an Utara).
3. Morfologi muara Kali Silandak lebih didominasi oleh faktor gelombang, sehingga dengan debit sungai yang relatif kecil tidak mampu menggelontor endapan yang terjadi di daerah hilir.



Gambar 7.1. Pembelokan mulut sungai/muara akibat pengaruh gelombang

7.2 ALTERNATIF PENANGGULANGAN MASALAH

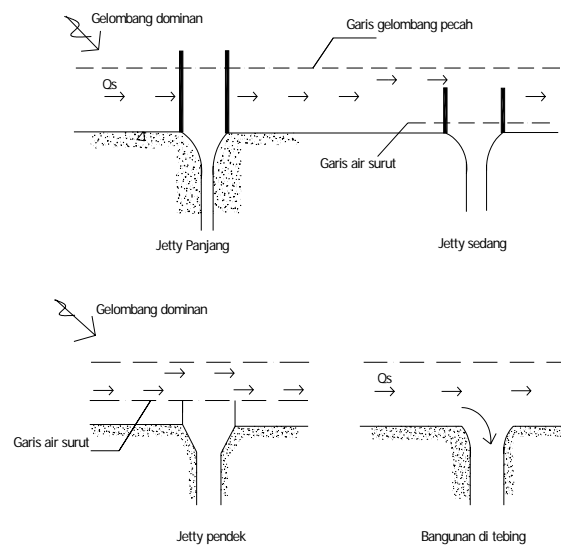
a. Prinsip - prinsip penanggulangan masalah

Proses penanganan muara di Kali Silandak, yang secara umum terjadi penutupan muara pada musim kemarau, maka perlu dibuat bangunan berupa *jetty*. Beberapa prinsip pembuatan *jetty* guna menjamin supaya penyumbatan di Muara Kali Silandak tidak terjadi adalah dilakukan sebagai berikut :

- (1). Pada musim kemarau di mana debit aliran sungai relatif kecil, maka perlu dibuat penanganan supaya sedimentasi di muara dapat tergerus oleh aliran sungai dan oleh energi pasang - surut.
- (2). Pada musim banjir, sedimentasi di muara akan secara otomatis dapat tergelontor oleh aliran banjir.
- (3). Pada sisi hilir, dimana terjadi erosi/abrasi garis pantai, perlu diperhatikan supaya bagian pangkal *jetty* dapat menyatu dengan tanggul sungai.
- (4). Panjang *jetty* supaya dapat diusahakan mencapai kedalaman laut yang cukup (laut dalam), sehingga tersedia gradien aliran yang cukup.

b. Pemilihan alternatif bangunan

Dalam pekerjaan perencanaan ini dilakukan analisis terhadap tiga alternatif rencana bangunan, yaitu *jetty* pendek, *jetty* sedang dan *jetty* panjang. Pemilihan tipe bangunan yang digunakan dipertimbangkan baik secara teknis maupun ekonomis.



Gambar 7.2. Alternatif pemilihan tipe *Jetty*

7.3 PERENCANAAN ALTERNATIF TERPILIH

Untuk mengatasi masalah penutupan mulut sungai yang terjadi di muara Kali Silandak ini, maka direncanakan konstruksi *jetty* pada Muara Kali Silandak sebagai penahan transport sedimen sepanjang pantai (*longshore transport*).

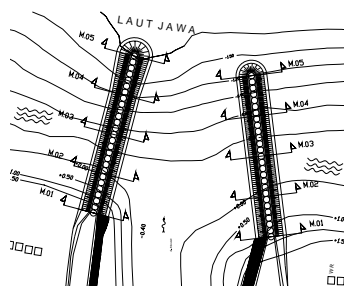
7.3.1 *Jetty*

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang ditempatkan di kedua sisi muara sungai. bangunan ini untuk menahan sedimen/pasir yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap di muara sungai, yang dapat menyumbat aliran sungai saat debit rendah. Selain itu *jetty* juga bisa digunakan untuk mencegah pendangkalan di muara dalam kaitannya dengan pengendalian banjir.

Transportasi sedimen sepanjang pantai juga sangat berpengaruh terhadap pembentukan endapan tersebut. Pasir yang melintas di depan muara akan terdorong oleh gelombang dan masuk ke dalam muara, dan tersumbatnya muara sungai, penutupan muara tersebut dapat menyebabkan banjir di daerah sebelah hulu muara. Pada musim penghujan air banjir dapat mengerosi endapan sehingga sedikit demi sedikit muara sungai terbuka kembali. Selama proses penutupan dan pembukaan kembali tersebut biasanya disertai dengan membeloknya muara sungai dalam arah yang sama dengan *transport* sedimen. *Jetty* dapat dibuat dan tumpukan batu, beton, *caisson*, tumpukan buis beton, turap dan sebagainya.

7.3.2 Arah *Jetty*

Arah *jetty* ditentukan oleh posisi letak muara sungai, di mana berdasarkan peta bathimetri dan untuk menyesuaikan posisi dari tanggul yang sudah ada, maka arah *jetty* ditentukan sebesar $15^{\circ}5'25,8''$ serong ke timur dihitung dari arah utara sesuai dengan tapak alur sungai yang telah ada yang dapat dilihat dari kontur dasar laut bathimetri.



Gambar 7.3. Layout peletakan *jetty*

7.3.3 Pehitungan Elevasi Puncak *Jetty*

7.3.3.1 Berdasarkan Aspek *Hidro - Oceanografi*

❖ Perhitungan *Wave Set-up*

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Naiknya muka air laut disebut *wave set-up*.

Wave Set-up dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S_w = 0.19 \left[1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{g \times T^2}} \right] H_b \quad (7.1)$$

Dari perhitungan sebelumnya, diperoleh data hasil perhitungan sebagai berikut :

Tinggi gelombang (H) = 0,990 m

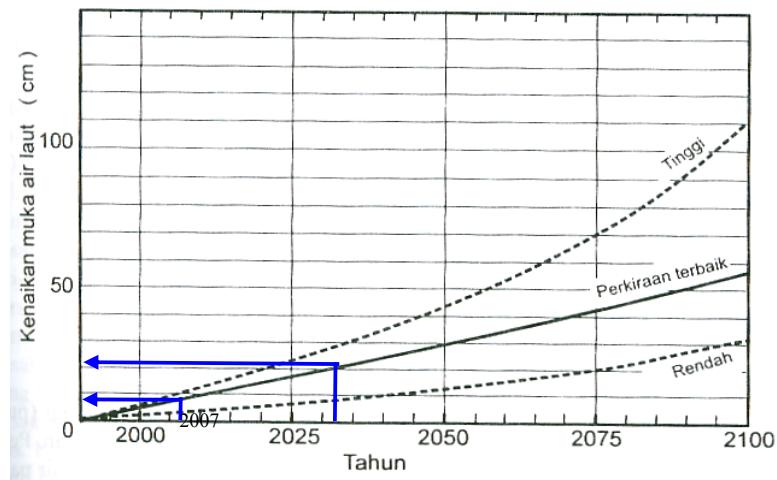
Periode gelombang (T) = 5,950 dtk

Tinggi gelombang pecah (H_b) = 1,091 m

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{1,091}{9,81 \times 5,950^2}} \right] \times 1,091 = 0,175 \text{ m}$$

❖ Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global

Kenaikan muka air karena pemanasan global (*Sea Level Rise (SLR)*) selama 25 tahun mulai tahun 2007 diperkirakan dari Gambar 7.4 yang hasilnya adalah 13 cm = 0,13m

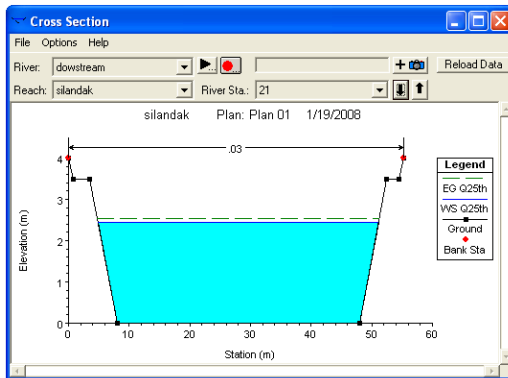


Gambar 7.4. Grafik kenaikan muka air akibat pemanasan global

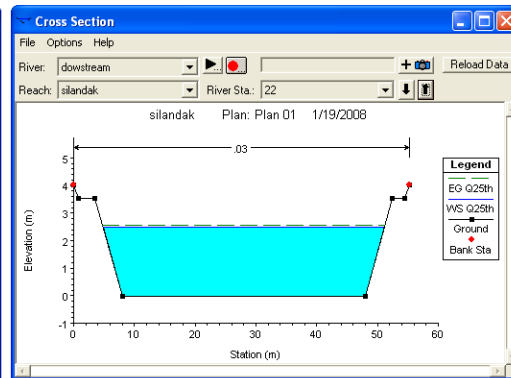
$DWL = 0,77 + 0,175 + 0,13 = 1,075$ m, elevasi puncak *jetty* diambil setinggi 2,75 dengan pertimbangan *jetty* dapat difungsikan sebagai tempat wisata pada saat kondisi debit sungai tidak terjadi banjir, dan tinggi nilai *overtopping* saat debit sungai mengalami banjir, diambil sebesar $\pm 0,50$ m dari kondisi debit banjir maksimal.

7.3.3.2 Berdasarkan Aspek Hidrolika dari Sungai Silandak

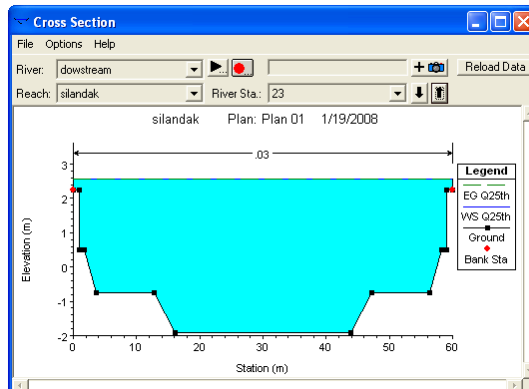
Ketinggian elevasi muka air banjir di Muara Kali Silandak pada saat terjadi banjir adalah pada elevasi 3,25m. Dalam perencanaan ini ketinggian puncak elevasi jetty diambil 2,75 m lebih rendah daripada elevasi muka air banjir pada sungai, dengan asumsi bahwa pada saat banjir masih ada kemungkinan air sungai setinggi $\pm 0,50$ m bisa meluap ke arah laut, dan pada saat tidak ada banjir *jetty* dapat digunakan sebagai media tempat wisata warga.



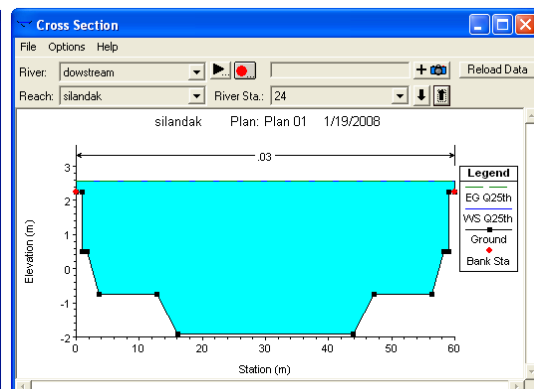
Sta. 1 – 1000



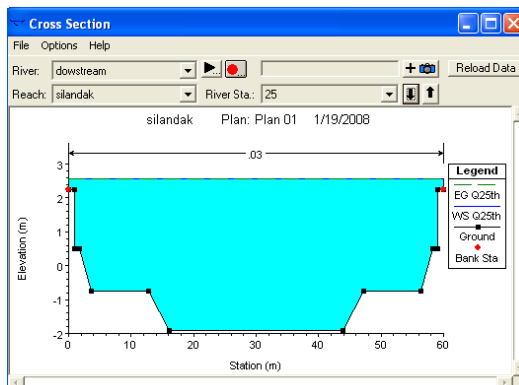
Sta. 1 - 1033



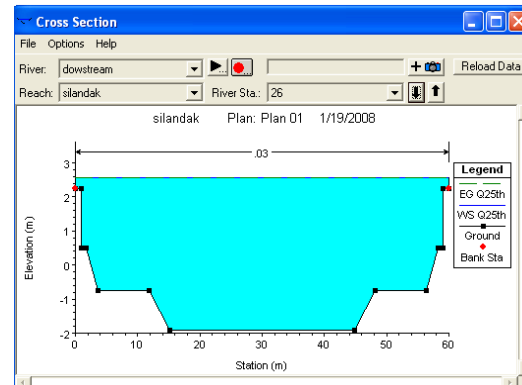
Sta. 0 – 0



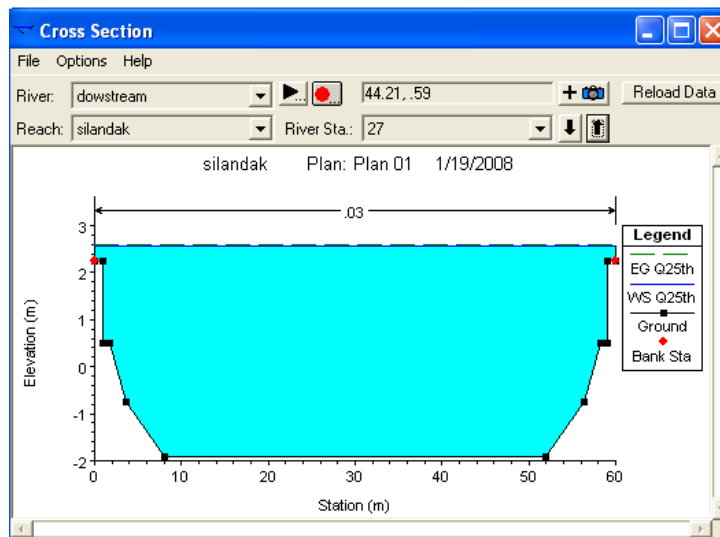
Sta. 0 – 16,25



Sta. 0 – 32,50



Sta. 0 – 48,25



Sta. 0 – 65

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: downstream Reach: silandak Profile: Q25th												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
silandak	27	Q25th	145.00	-1.90	2.56		2.58	0.000055	0.59	244.02	60.00	0.09
silandak	26	Q25th	145.00	-1.90	2.56		2.58	0.000071	0.64	226.10	60.00	0.11
silandak	25	Q25th	145.00	-1.90	2.56		2.58	0.000073	0.65	224.01	60.00	0.11
silandak	24	Q25th	145.00	-1.90	2.55		2.58	0.000073	0.65	223.93	60.00	0.11
silandak	23	Q25th	145.00	-1.90	2.55		2.57	0.000073	0.65	223.86	60.00	0.11
silandak	22	Q25th	145.00	-0.02	2.47		2.57	0.000557	1.35	107.65	46.34	0.28
silandak	21	Q25th	145.00	0.01	2.44		2.54	0.000605	1.38	104.93	46.28	0.29
silandak	20	Q25th	145.00	-0.01	2.41		2.51	0.000621	1.39	104.01	46.20	0.30
silandak	19	Q25th	145.00	-0.02	2.37		2.47	0.000641	1.41	103.01	46.15	0.30
silandak	18	Q25th	145.00	-0.03	2.34		2.44	0.000659	1.42	102.06	46.10	0.30
silandak	17	Q25th	145.00	-0.05	2.30		2.41	0.000681	1.44	101.02	46.04	0.31
silandak	16	Q25th	145.00	-0.06	2.27		2.37	0.000705	1.45	99.90	45.98	0.31
silandak	15	Q25th	145.00	-0.07	2.23		2.34	0.000732	1.47	98.72	45.91	0.32
silandak	14	Q25th	145.00	-0.09	2.19		2.30	0.000760	1.49	97.52	45.84	0.33
silandak	13	Q25th	145.00	-0.09	2.14		2.26	0.000802	1.51	95.87	45.75	0.33
silandak	12	Q25th	145.00	-0.11	2.10		2.22	0.000833	1.53	94.73	45.69	0.34
silandak	11	Q25th	145.00	-0.12	2.05		2.18	0.000877	1.56	93.18	45.60	0.35
silandak	10	Q25th	145.00	-0.14	2.00		2.13	0.000929	1.58	91.48	45.50	0.36
silandak	9	Q25th	145.00	-0.15	1.95		2.08	0.000991	1.62	89.65	45.40	0.37
silandak	8	Q25th	145.00	-0.16	1.89		2.03	0.001065	1.66	87.61	45.28	0.38
silandak	7	Q25th	145.00	-0.18	1.83		1.98	0.001153	1.70	85.43	45.16	0.39
silandak	6	Q25th	145.00	-0.19	1.76		1.91	0.001276	1.75	82.73	45.01	0.41
silandak	5	Q25th	145.00	-0.20	1.68		1.85	0.001436	1.82	79.70	44.83	0.44
silandak	4	Q25th	145.00	-0.21	1.58		1.77	0.001669	1.91	76.01	44.62	0.47
silandak	3	Q25th	145.00	-0.23	1.46		1.67	0.002052	2.04	71.23	44.34	0.51
silandak	2	Q25th	145.00	-0.24	1.29	0.84	1.55	0.002877	2.26	64.06	43.93	0.60
silandak	1	Q25th	145.00	-0.25	0.84	0.84	1.37	0.008971	3.23	44.96	42.79	1.00

Gambar 7.5. Tabel output data HEC-RAS

7.3.4 Parameter dan rumus yang digunakan dalam perencanaan *Jetty Vertikal*

❖ Parameter – parameter yang digunakan dalam perencanaan

$$\text{LLWL} = -0,63 \text{ m dari MSL} \quad \text{HHWL} = +0,77 \text{ m dari MSL}$$

$$d_b = 1,276 \text{ m dari MSL} \quad H_{33} \text{ atau } H_s = 0,593 \text{ m}$$

$$H_b = 1,091 \text{ m dari MSL} \quad H_1 = 0,990 \text{ m}$$

$$T_1 = 5,950 \text{ dtk}$$

Lokasi kedalaman gelombang pecah didasarkan pada posisi LLWL, sehingga kedalaman gelombang pecahnya menjadi : $1,276 - (-0,63) = 1,90 \text{ m}$ dimana dapat dilihat pada kontur peta diukur dari posisi (MSL)

❖ Rumus - rumus yang digunakan dalam perencanaan

1. Tekanan gelombang yang terjadi pada dinding vertikal *jetty* diantaranya :

$$p_1 = 1/2 \times (1 + \text{Cos}\beta) \times (\alpha_1 + \alpha_2 \text{Cos}^2\beta) \times \gamma_o \times H_{\max} \quad (7.2)$$

$$H_{\max} = 1,8 \times H_s \quad (7.3)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\text{Cosh}(2\pi d / L)} \quad (7.4)$$

$$p_3 = \alpha_3 \times p_1 \quad (7.5)$$

dengan :

$$\alpha_1 = 0,6 + 1/2 \times \left\{ \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right\}^2 \quad (7.6)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2 ; \frac{2d}{H_{\max}} \right\} \quad (7.7)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d} \left\{ 1 - \frac{1}{\text{Cosh}(2\pi d / L)} \right\} \quad (7.8)$$

(dalam Goda, 1985)

dimana :

p_1 = tekanan maksimum yang terjadi pada elevasi muka air rencana

p_2 = tekanan yang terjadi pada tanah dasar

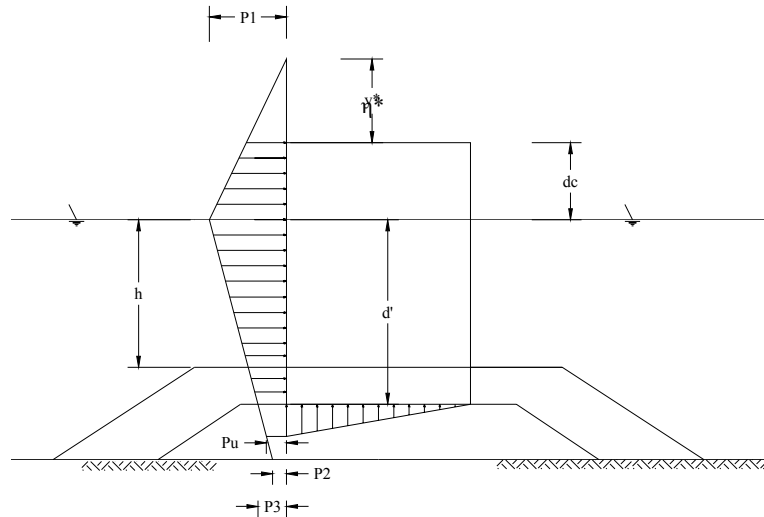
p_3 = tekanan yang terjadi pada dasar dinding vertikal

P_u = tekanan keatas pada dasar dinding

d = kedalaman air didepan pemecah gelombang

h = kedalaman diatas lapis pelindung dari fondasi tumpukan batu

- d_c = jarak antara elevasi muka air rencana dan puncak bangunan
 d' = jarak dari elevasi muka air rencana ke dasar tampang sisi tegak
 η^* = elevasi maksimum dari distribusi tekanan gelombang terhadap muka air



Gambar 7.6. Tekanan gelombang pada pemecah gelombang sisi tegak

Min (a,b) : nilai yang lebih kecil antara a dan b

d_{bw} = kedalaman air di lokasi yang berjarak $5 H_s$ ke arah laut dari pemecah gelombang

β = sudut antara arah gelombang datang dan garis tegak lurus pemecah gelombang, yang biasanya diambil 15°

2. Elevasi maksimum dimana tekanan gelombang bekerja

$$\eta^* = 0,75 (1 + \cos \beta) \cdot H_{\max} \quad (7.9)$$

3. Tekanan ke atas (P_u)

$$P_u = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta) \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \gamma_0 \cdot H_{\max} \quad (7.10)$$

4. Gaya gelombang dan momen

$$R_m = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) \cdot d' + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) \cdot d_c^*$$

$$M_m = \frac{1}{6} (2p_1 + p_2) \cdot d'^2 + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) \cdot d' \cdot d_c^* + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_4) d_c^{*2} \quad (7.11)$$

dengan :

$$p_4 = p_1 \cdot (1 - d_c / \eta^*) \longrightarrow \text{dimana : } \eta^* > d_c$$

$$0 \longrightarrow \text{dimana : } \eta^* \leq d_c$$

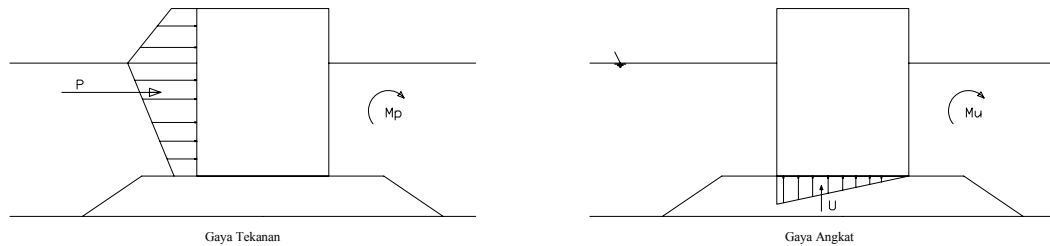
$$d_c^* = \min \{ \eta^*, d_c \}$$

5. Gaya angkat dan momennya terhadap ujung belakang kaki bangunan

$$U = \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot B \quad (7.12)$$

$$M_u = \frac{2}{3} U \cdot B \quad (7.13)$$

dengan B adalah lebar dasar bangunan vertikal



Gambar 7.7. Gaya gelombang, gaya angkat dan momen

7.3.5 Stabilitas Jetty

Stabilitas jetty di desain untuk dapat menahan gempuran energi gelombang yang terjadi.

Dengan kondisi :

- lokasi gelombang pecah *jetty* = -1,276 m
- LLWL = - 0,63 m
- Sehingga kedalaman maksimal lokasi *jetty* (d_s) = 1,90 m

Perhitungan gelombang laut dalam ekivalen :

- Tinggi gelombang (H_o) = 0,990 m
- Periode gelombang (T) = 5,950 dtk
- Arah datang gelombang (α_0) = 45°
- Kedalaman (d_s) = 1,90 m

a) Perhitungan koefisien shoaling (K_s)

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 5,950^2 = 55,228 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{55,228}{5,950} = 9,282 \text{ m/dtk} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{L_o} = 0,0344 \quad \Rightarrow \quad n_1 = 0,9301$$

$$\text{Dari lampiran tabel L-1 didapat : } \frac{d}{L} = 0,07677$$

$$L = \frac{1,90}{0,07677} = 24,749$$

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{n L}} = \sqrt{\frac{0,5 \times 55,228}{0,9301 \times 24,749}} = 1,199$$

b) Perhitungan koefisien refraksi (Kr)

$$C = \frac{L}{T} = \frac{24,749}{5,950} = 4,159 \text{ m/dtk}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \sin \alpha = \frac{4,159}{9,282} \sin 45 = 0,317 \Rightarrow \alpha = 18,472$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha^o}} = \sqrt{\frac{\cos 45^o}{\cos 18,472^o}} = 0,863$$

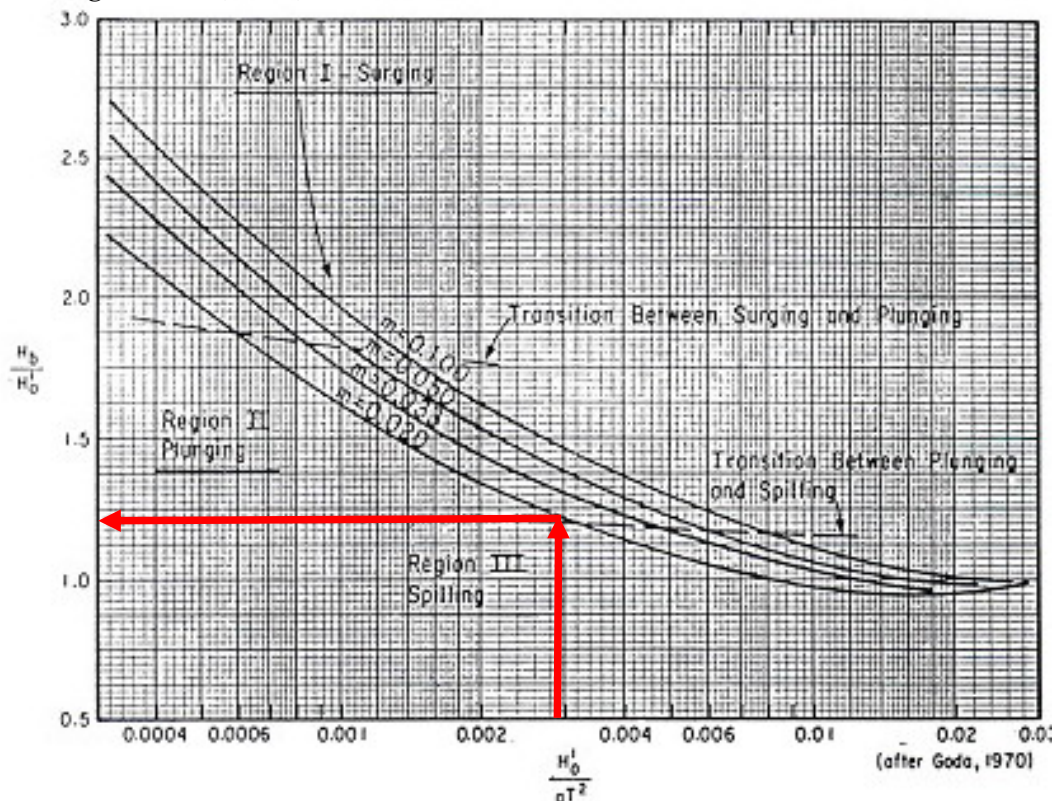
Dari perhitungan di atas koefisien didapat tinggi gelombang ekivalen (H_o') adalah :

$$\begin{aligned} (H_o') &= K_s \times K_r \times H_o \\ &= 1,199 \times 0,863 \times 0,990 \Rightarrow = 1,024 \text{ m} \end{aligned}$$

c) Perhitungan tinggi gelombang pecah dengan Metode SPM

$$H_o' = 1,024 \text{ m}$$

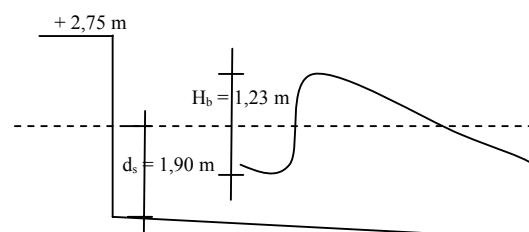
$$\frac{H_o'}{gT^2} = \frac{1,024}{9,81 \times 5,950^2} = 0,0029 \Rightarrow \text{dimasukkan ke grafik 7.8}$$



Gambar 7.8. Grafik penentuan tinggi gelombang pecah (H_b)

$$\frac{H_b}{H_o'} = 1,20$$

$$H_b = H_o' \times 1,20 = 1,024 \times 1,20 = 1,23 \text{ m}$$



7.3.6 Perencanaan jetty vertikal dengan menggunakan struktur *caisson*

a) Kedalaman air dan tinggi bangunan :

$$d' = \frac{Hb}{2} = 0,62 \text{ m} \quad d_c = 1,62 \text{ m} \quad T = 5,95 \text{ dtk} \quad m = 0,020$$

$$d = d_s + d' = 2,52 \text{ m} \quad \gamma_o = 1,03 \text{ ton/m}^3 \quad H_s = 0,593 \text{ m}$$

$$h = 0,15 \text{ m} \quad \gamma_r = 2,65 \text{ ton/m}^3 \quad B = 2,50 \text{ m}$$

Panjang dan Tinggi Gelombang :

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 5,952^2 \longrightarrow L_o = 55,228 \text{ m}$$

$$\frac{d_s}{L_o} = \frac{1,90}{55,228} = 0,0344$$

$$H_{\max} = 1,8 \times H_s = 1,8 \times 0,593 \longrightarrow H_{\max} = 1,067 \text{ m}$$

$$d_{bw} = d + 5 \cdot m \cdot H_s = 2,52 + 5 \times 0,020 \times 0,593 = 2,579 \text{ m}$$

b) Tekanan Gelombang

Dengan menggunakan grafik L-1 dan interpolasi, untuk nilai $\frac{d_s}{L_o} = 0,0344$

diperoleh nilai – nilai sebagai berikut :

$$\frac{d}{L} = 0,07677 \quad \text{Sinh}(4\pi d/L) = 1,1215$$

$$\frac{4\pi d}{L} = 0,9647 \quad \text{Cosh}(2\pi d/L) = 1,1186$$

➤ Koefisien Tekanan Gelombang

$$- \alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \times \left\{ \frac{4\pi d / L}{\sinh(4\pi d / L)} \right\}^2$$

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{0,9647}{1,1215} \right\}^2 = 0,969$$

$$- \alpha_2 = \min \left\{ \frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2; \frac{2d}{H_{\max}} \right\}$$

$$\frac{d_{bw} - h}{3d_{bw}} \left(\frac{H_{\max}}{h} \right)^2 = \frac{2,579 - 0,15}{3 \times 2,579} \times \left(\frac{1,067}{0,15} \right)^2 = 15,885$$

$$\frac{2d}{H_{\max}} = \frac{2 \times 2,52}{1,067} = 4,725$$

$$\alpha_2 = \min (15,885 ; 4,724) \longrightarrow \alpha_2 = 4,724$$

$$- \alpha_3 = 1 - \frac{d'}{d} \left\{ 1 - \frac{1}{\text{Cosh}(2\pi d / L)} \right\}$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{0,62}{2,52} \left\{ 1 - \frac{1}{1,1186} \right\} \longrightarrow \alpha_3 = 0,974$$

➤ Tekanan Gelombang

- Tekanan maksimum yang terjadi pada elevasi muka air rencana (p_1) :

$$p_1 = 1/2 \times (1 + \text{Cos } \beta) \times (\alpha_1 + \alpha_2 \text{Cos}^2 \beta) \times \gamma_o \times H_{\max}$$

$$p_1 = 1/2 \times (1 + \text{Cos } 15^\circ) \times (0,969 + 4,724 \text{Cos}^2 15^\circ) \times 1,03 \times 1,067 = 6,149 \text{ t/m}^2$$

- Tekanan yang terjadi pada tanah dasar (p_2) :

$$p_2 = \frac{p_1}{\text{Cosh}(2\pi d / L)}$$

$$p_2 = \frac{6,149}{1,1186} = 5,497 \text{ t/m}^2$$

- Tekanan yang terjadi pada dasar dinding vertikal (p_3) :

$$p_3 = \alpha_3 \times p_1$$

$$p_3 = 0,974 \times 6,149 = 5,989 \text{ t/m}^2$$

- Tekanan keatas pada dasar dinding vertikal (P_u) :

$$P_u = 1/2 (1 + \text{Cos } \beta) \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \gamma_o \cdot H_{\max}$$

$$P_u = 1/2 (1 + \text{Cos } 15^\circ) \times 0,969 \times 0,974 \times 1,03 \times 1,067 = 1,019 \text{ t/m}^2$$

➤ *Gaya Gelombang dan Momen*

- Menghitung elevasi maksimum distribusi tekanan gelombang terhadap muka air :

$$\eta^* = 0,75 (1 + \cos \beta) \cdot H_{\max}$$

$$\eta^* = 0,75 (1 + \cos 15^\circ) \times 1,067 = 1,573 \text{ m}$$

- Menghitung jarak antara elevasi muka air rencana dan puncak bangunan :

$$d_c^* = \min \{ \eta^*, d_c \}$$

$$d_c^* = \min (1,573 ; 1,620) \longrightarrow d_c^* = 1,573 \text{ m}$$

$$\text{dimana : } d_c \geq \eta^* \text{ maka } p_4 = 0$$

❖ *Gaya Gelombang & Momen Gelombang*

$$R_m = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) \cdot d' + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) \cdot d_c^*$$

$$R_m = \frac{1}{2} (6,149 + 5,989) \times 0,62 + \frac{1}{2} (6,149 + 0) \times 1,573$$

$$R_m = 8,599 \text{ t}$$

$$M_m = \frac{1}{6} (2p_1 + p_2) \cdot d'^2 + \frac{1}{2} (p_1 + p_4) \cdot d' \cdot d_c^* + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_4) d_c^{*2}$$

$$M_m = \frac{1}{6} (2 \times 6,149 + 5,497) \times 0,62^2 + \frac{1}{2} (6,149 + 0) \times 0,62 \times 1,573 +$$

$$\frac{1}{6} (6,149 + 0) \times 1,573^2 \longrightarrow M_m = 6,674 \text{ tm}$$

❖ *Gaya Angkat & Momen*

$$U = \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot B$$

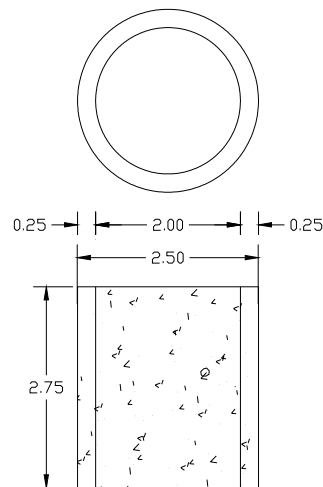
$$U = \frac{1}{2} \cdot 1,019 \times 2,5 = 1,274 \text{ t}$$

$$M_u = \frac{2}{3} U \cdot B$$

$$M_u = \frac{2}{3} \times 1,274 \times 2,5 = 2,123 \text{ tm}$$

c) Cek Stabilitas Struktur Caisson

- Berat struktur beton diatas air ($\gamma_o = 2,4 \text{ t/m}^3$)



$$\begin{aligned} \text{Luasan lingkaran}_1 (LO_1) &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times (1,25^2) = 4,906 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan lingkaran}_2 (LO_2) &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \times (1,0^2) = 3,14 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luasan caisson} = LO_1 - LO_2 = 4,906 - 3,14 = 1,766 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat struktur caisson} (W_c) = L \times \gamma_o$$

$$W_c = 1,766 \times 2,40 \times 2,75 = 11,656 \text{ t}$$

Gambar 7.9. Detail Caisson

- Berat isi struktur diatas air ($\gamma_o = 2,4 \text{ t/m}^3$)

$$\text{Berat isi caisson} (W_s) = LO_2 \times \gamma_o$$

$$W_s = 3,14 \times 2,4 \times 2,75 = 20,724 \text{ t}$$

$$\text{Berat total struktur} (W_{\text{tot}}) = W_c + W_s$$

$$W_{\text{tot}} = 11,656 + 20,724 = 32,380 \text{ t}$$

Kontrol stabilitas keseluruhan konstruksi, dimana koefisien gesek = 0,7

$$\text{Stabilitas Sliding} = \frac{\Sigma V \times \mu_s}{\Sigma H}$$

$$= \frac{32,380 \times 0,7}{8,599} = 3,766 > 1,2 \quad \text{OK !!}$$

$$\text{Stabilitas guling} = \frac{\Sigma MV}{\Sigma MH} > 1,5$$

$$= \frac{40,475}{6,674} = 6,065 > 1,5 \quad \text{OK !!}$$

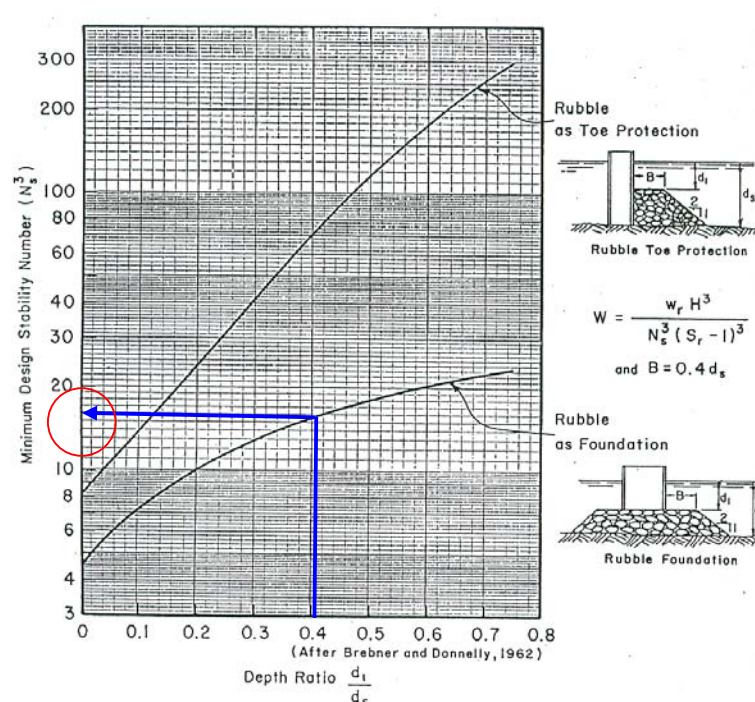
d) Menghitung pondasi bawah

✚ Kondisi pondasi tenggelam

Direncanakan tinggi pondasi bangunan sampai pada posisi HWL = + 0,77 m
dimana (t) = 0,77 - (-1,90) = 2,67 m, dan d_s diukur dari lokasi terdalam *jetty*
(-1,90) sampai posisi MSL, sehingga $d_s = 1,90$ m

$$d_1 = t - d_s = 2,67 - 1,90 = 0,41 \text{ m}$$

$d_1/d_s = 0,41$ dari **Gambar 7.12.** di peroleh $N_s^3 = 16$



Gambar 7.10. Angka stabilitas N_s untuk fondasi pelindung kaki

- Berat butir :

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_o}$$

$$W = \frac{\gamma_r H_b^3}{N_s^3 (S_r - 1)^3} = \frac{2,65 \times 1,71^3}{16 \left(\frac{2,65}{1,03} - 1 \right)^3} = 0,213 \text{ ton} = 213 \text{ kg}$$

- Diameter batu

$$D = \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

Dimana nilai untuk γ_r diambil 80%nya sehingga = $80\% \times 2,65 = 2,12 \text{ ton/m}^3$

$$D = \left(\frac{0,213}{2,12} \right)^{1/3} = 0,46 \text{ m} = 46 \text{ cm}$$

diameter batu yang digunakan untuk pondasi bawah uk. Φ 45 – 60 cm dengan berat batu $W = 200 - 400 \text{ kg}$

✚ Kondisi pondasi tidak tenggelam

Tabel 7.1. Daftar harga K_{Δ} (Koefisien Lapis)

Batu Pelindung	n	Penempatan	K_{Δ}	Porositas P (%)
Batu alam (halus)	2	Random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Kubus	2	Random (acak)	1,10	47
Tetrapoda	2	Random (acak)	1,04	50
Quadripod	2	Random (acak)	0,95	49
Hexapoda	2	Random (acak)	1,15	47
Tribard	2	Random (acak)	1,02	54
Dolos	2	Random (acak)	1,00	63
Tribar	2	Seragam	1,13	47
Batu alam	1	Random (acak)		37

Tabel 7.2. Koefisien stabilitas K_D untuk berbagai jenis butir

Lapis lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung Bangunan		Kemiringan
			K_D		K_D		
			Gelombang		Gelombang		
			Pecah	Tdk pecah	Pecah	Tdk Pecah	Cot θ
Batu Pecah							
➤ Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
➤ Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	* ²
➤ Bersudut kasar	1	Acak	* ¹	2,9	* ¹	2,3	* ³

Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9 1,6 1,3	3,2 2,8 2,3	1,5 2,0 3,0
➤ Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	* ²
➤ Bersudut kasar	2	Khusus * ³	5,8	7,0	5,3	6,4	* ²
➤ Parallel epiped	2	Khusus	7,0-20	8,5-24	-	-	
Tetrapoda					5,0	6,0	1,5
Dan	2	Acak	7,0	8,0	4,5	5,5	2,0
Quadripod					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3 7,8 6,0	9,0 8,5 6,5	1,5 2,0 3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0 7,0	16,0 14,0	2,0 3,0

Dari Tabel 7.1. dan Tabel 7.2. diperoleh data – data sebagai berikut :

$$n = 2$$

$$KD = 1,9 \text{ untuk ujung dan } 2 \text{ untuk lengan}$$

$$K\Delta = 1,15$$

$$\text{Porositas } P (\%) = 37$$

$$\text{Cot } \theta = 2$$

$$\gamma_a = \text{berat jenis air laut (} 1,03 \text{ t/m}^3 \text{)}$$

$$\gamma_r = \text{berat jenis batu (} 2,65 \text{ t/m}^3 \text{)}$$

Menghitung Berat Butir Lapis Lindung :

Berat butir batu pelindung dengan menggunakan Rumus Hudson adalah sebagai berikut :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (7.14)$$

dimana :

$$W = \text{berat butir batu pelindung (ton)}$$

$$\gamma_r = \text{berat jenis batu (ton/m}^3 \text{)}$$

γ_a = berat jenis air laut (ton/m³)

H = tinggi gelombang rencana (m)

θ = sudut kemiringan sisi

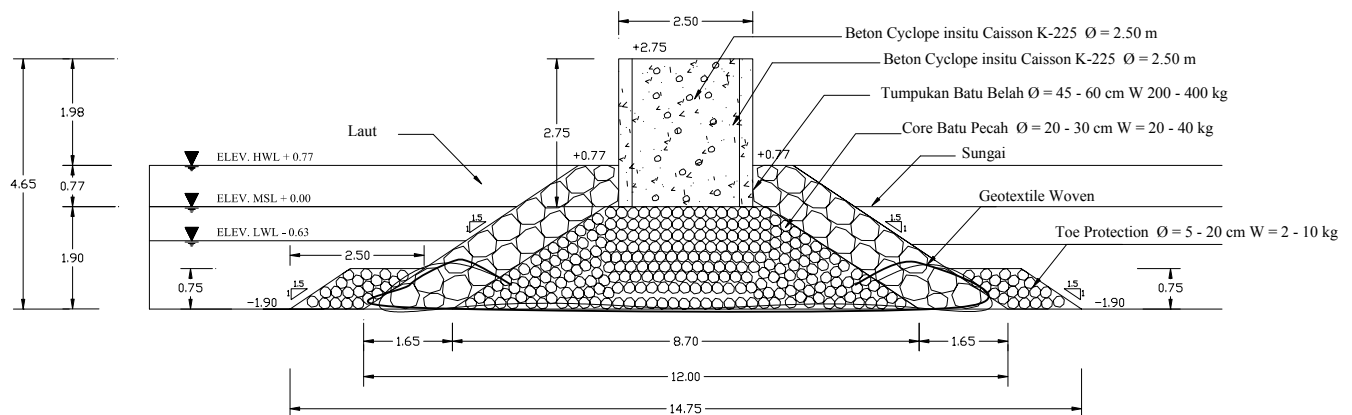
KD = koefisien stabilitas bentuk batu pelindung

Lapis pelindung utama (*armor stone*)

Berat lapis pelindung utama (W) :

$$W = \frac{2,65 \times 1,23^3}{1,9 \times \left[\frac{2,65}{1,03} - 1 \right]^3} \times 2 = 0,334 \text{ ton} = 334 \text{ kg}$$

Berdasarkan dari kondisi diatas, asumsi yang diambil dalam perencanaan adalah pondasi yang tenggelam mengingat diatas pondasi masih ada struktur caisson dan fungsi dari pondasi hanya untuk menahan struktur caisson supaya tidak terjadi kemungkinan struktur mengalami geser, guling, dan sliding. Selain itu juga supaya posisi daripada elevasi puncak *jetty* tidak terlalu tinggi.



Gambar 7.11. Struktur *jetty* vertikal

7.3.7 Penulangan Caisson

- Data Caisson :

$$\text{Lebar jetty} = 2,50 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jetty} = 65 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi jetty} = 2,75 \text{ m}$$

$$\text{Berat jenis struktur beton} = 2,40 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Berat jenis air} = 1,03 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Mutu beton (f'c)} = 225 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Mutu baja (fy)} = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

- Pembebanan Struktur

a Beban Mati

$$\text{Berat Caisson} : 2,40 \times 3,14 \times 1,25^2 = 11,775 \text{ t}$$

b Beban Hidup

Beban D terdiri dari :

$$\text{- Faktor Kejut} : K = 1 + \frac{20}{50 + 65} = 1,174$$

$$\text{- Beban Garis} : P = \frac{12}{2,75} \times 1,174 = 5,122 \text{ t/m}$$

$$\text{Beban Merata} : \text{untuk } L > 60 \text{ m, maka } q = 2,2 - \frac{1,1}{60} \times (65 - 30) = 1,558 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban D} &= (5,122 \times 2,5) + (2,561 \times 0,5) + (2,561 \times 0,5) + (1,558 \times 2,5) \\ &+ (0,779 \times 0,5) + (0,779 \times 0,5) = 20,040 \text{ t} \end{aligned}$$

$$\text{- Beban T kendaraan dianggap} = 12 \text{ t}$$

c Beban Horisontal

Beban horizontal terdiri dari :

- Beban Rem dan Traksi (Rm) : pengaruh gaya – gaya dalam arah memanjang akibat rem diperhitungkan sebesar 5% dari beban D

$$R_m = 5\% \times 20,040 = 1,002 \text{ t}$$

- Beban gempa (Gb)

Besarnya Gb diambil sebesar 0,15 x beban mati

$$G_b = 0,15 \times 11,775 = 1,766 \text{ t}$$

d Gaya Gelombang (R_m) dan Gaya Angkat (U) Kaison :

$$R_m = 8,599 \text{ t}$$

$$U = 1,274 \text{ t}$$

Sehingga :

$$q_u = 11,775 + (1,002 \times 2,75) + (8,599 \times 2,75) + 1,558 + (1,766 \times 1,375) = 23,745 \text{ tm}$$

$$p = 5,122 + 12 - 1,274 = 16,287 \text{ t}$$

$$R_A = \frac{p + (q_u \times l)}{2} = \frac{16,287 + (23,745 \times 2,5)}{2} = 37,825 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{1}{8} \times q_u \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l \\ &= \frac{1}{8} \times 23,745 \times 16,287^2 + \frac{1}{4} \times 16,287 \times 2,5 = 797,523 \text{ tm} \end{aligned}$$

- Penulangan Caisson

$$P_u = 37,825 \text{ t} = 378250 \text{ N}$$

$$M_u = 797,523 \text{ tm}$$

$$M_n = M_u / 1,2 = 398,762$$

$$t = 2,5 \text{ m}$$

$$d = h - p - (1/2 \times \emptyset) = 2500 - 400 - (1/2 \times 19) = 2092 \text{ mm}$$

$$A_{gr} = 2500 \times 1000 = 2,5 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$\frac{P_u}{(\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c)} = \frac{37,825 \times 10^4}{(1,6 \times 2,5 \times 10^6 \times 0,85 \times 22,5)} = 0,0049 < 0,1$$

$$e_t = \frac{M_n}{P_u} = \frac{398,762}{37,825} = 10,542 \text{ m} = 10542 \text{ mm}$$

$$\frac{e_t}{h} = \frac{10542}{2500} = 4,217$$

$$\frac{P_u}{(\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c)} \times \frac{e_t}{h} = 0,0049 \times 4,217 = 0,021$$

$$\frac{d'}{h} = \frac{400}{2500} = 0,26$$

dari grafik 6.2.d (GTPBB) diperoleh $r = 0,001$

$$\beta = 1,20$$

$$\rho = r \times \beta = 0,001 \times 1,20 = 0,0012$$

tulangan pokok :

$$A_s = \rho \times A_{gr}$$

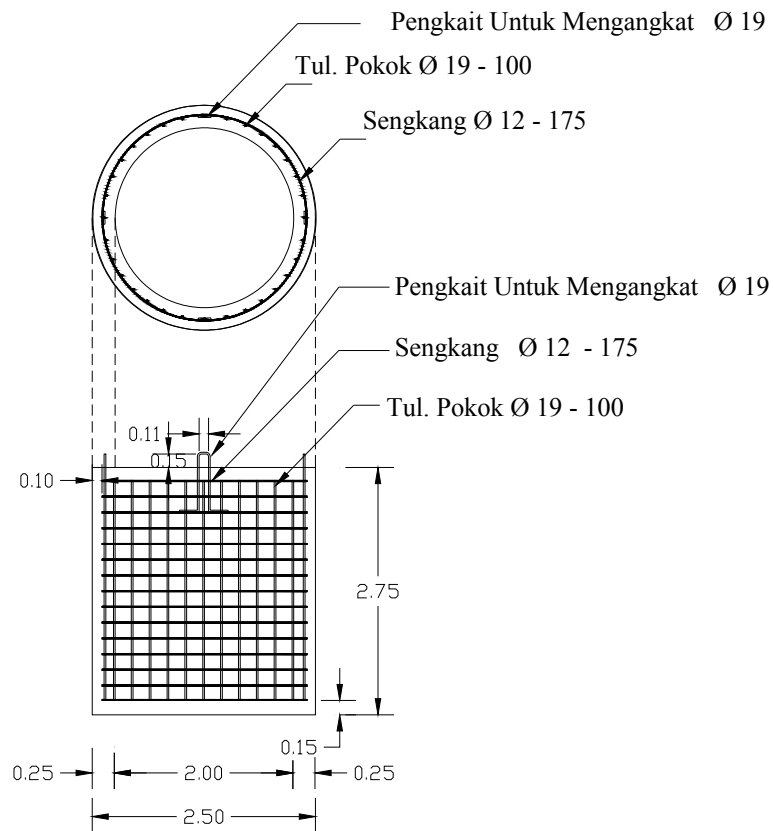
$$= 0,0012 \times 2,5 \times 10^6 = 3000 \text{ mm}^2$$

dipakai tulangan = $\text{Ø}19 - 100$ (2835 mm^2)

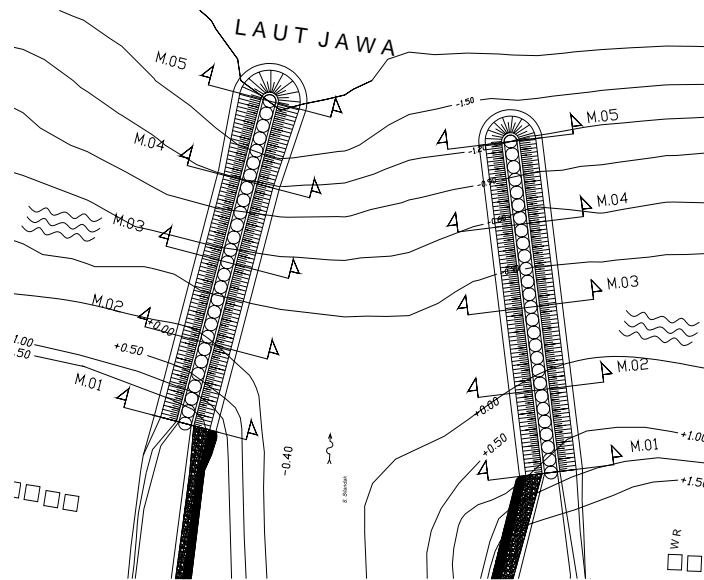
tulangan sengkang dipakai :

$$A_s = 25\% \times 3000 = 750 \text{ mm}^2$$

dipasang $\text{Ø}12 - 175$ (640 mm^2)

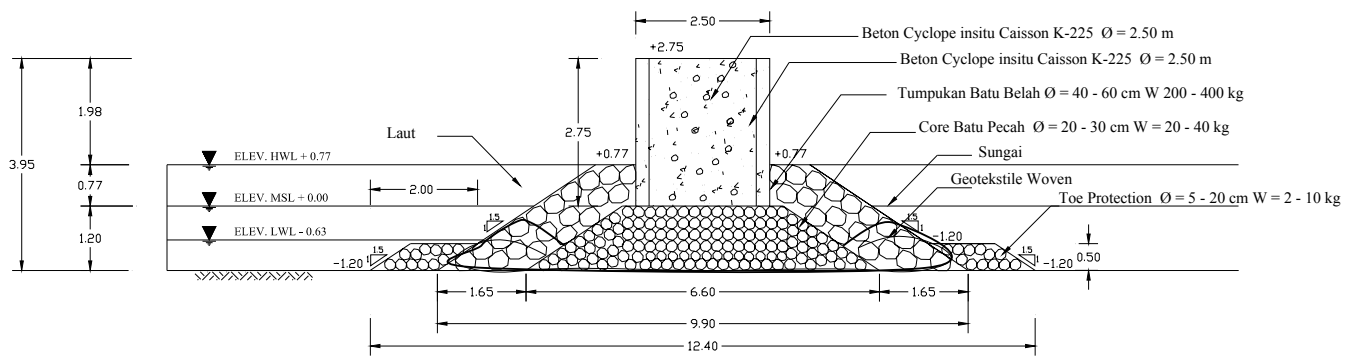


Gambar 7.12. Penulangan Struktur Caisson

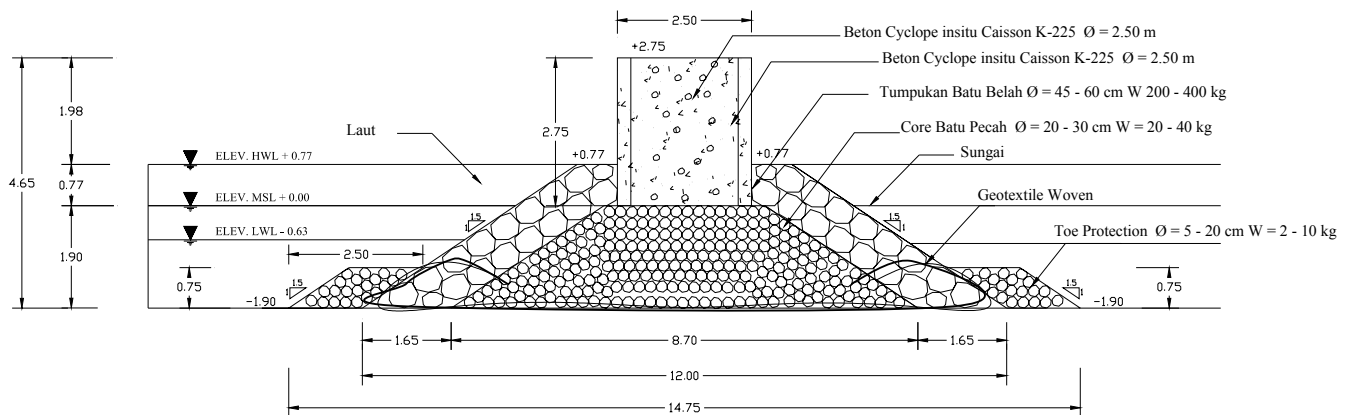


Gambar 7.13. Layout peletakan jetty

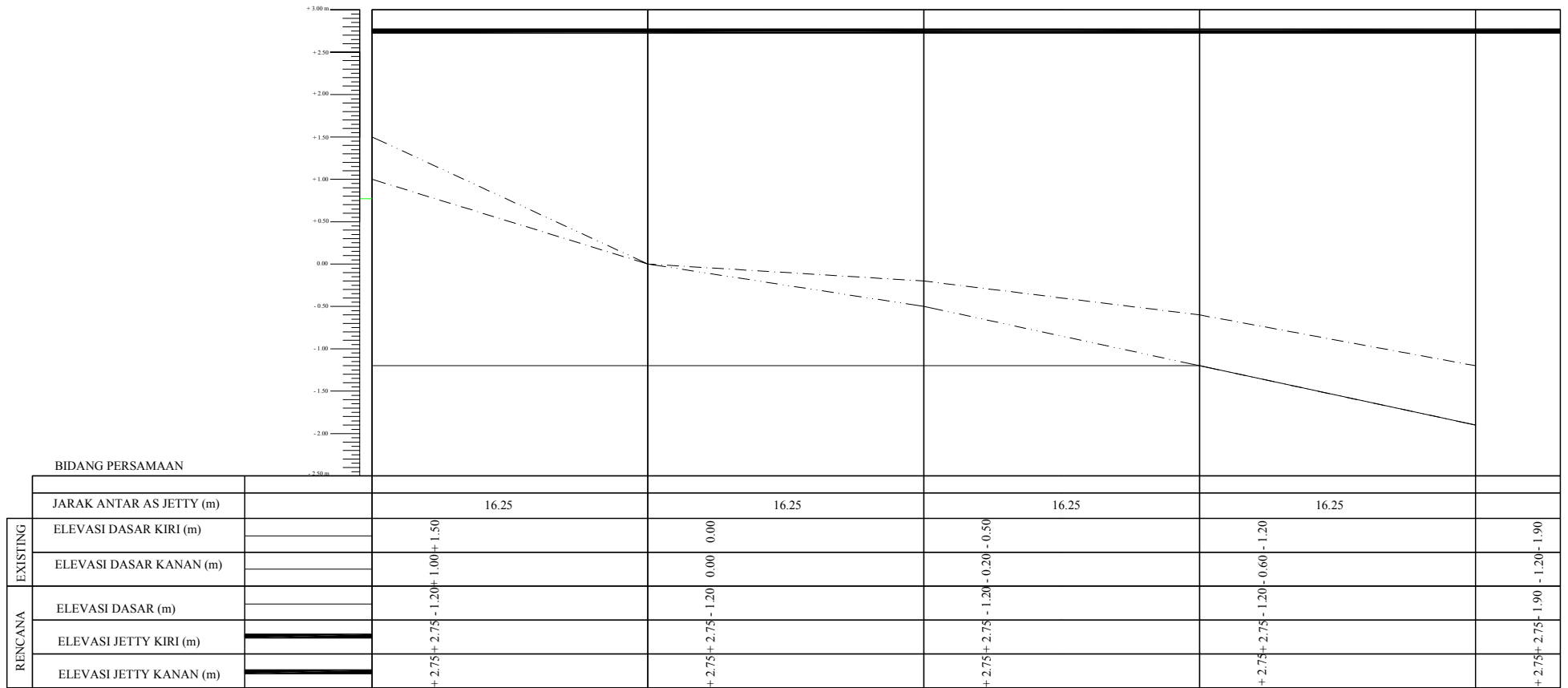
Berikut ini gambar – gambar tipe jetty



Gambar 7.14. Detail jetty M01 – M04



Gambar 7.15. Detail jetty M05



Gambar 7.16. Potongan memanjang jetty M01 – M05