

ANALISIS DAYA DUKUNG LATERAL PADA TIANG PANCANG KELOMPOK DI DERMAGA BELANG

Sabrina Kawengian

Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: sabrinakawengian@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu beban yang perlu diperhitungkan pada perencanaan pondasi adalah beban lateral. Beban lateral merupakan beban yang bekerja tegak lurus tiang sehingga memungkinkan terjadinya pergeseran bila tiang tidak mampu menahannya. Bangunan dermaga cenderung menerima beban lateral yang lebih besar dari pada beban aksial, yaitu berupa beban gelombang dan tumbukan kapal. Pada penelitian ini dilakukan analisis daya dukung lateral tiang pancang kelompok dengan menggunakan metode Broms, Meyerhof, Evans dan Duncan dan software dibidang geoteknik yaitu GEO5. Sedangkan untuk perhitungan gaya gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan Morison dan teori gelombang Stokes orde ke-5.

Besar gaya gelombang maksimum yang dihitung dengan menggunakan metode Morison dan Stokes menghasilkan nilai sebesar 0,572 ton dan 0,503 ton yang dihitung berdasarkan data kecepatan angin maksimum dan fetch efektif di Dermaga Belang. Selain itu, diperhitungkan juga nilai gaya gelombang pada tepi dermaga sebesar 6,575 ton. Sedangkan beban tumbukan kapal yang digunakan adalah beban tumbukan kapal 1000 DWT yang menghasilkan gaya sebesar 1,649 ton. Sehingga beban lateral total sebesar 8,797 ton. Dari hasil analisis tiang pancang kelompok di dermaga Belang menunjukkan bahwa besar kapasitas lateral dan defleksi tiang pancang kelompok yang dianalisis dengan metode Meyerhof hasilnya paling besar diantara metode lainnya, yaitu sebesar 30848,170 kN dengan defleksi 2,21 mm.

Kata kunci: Beban lateral, pondasi tiang pancang, GEO 5

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia. Untuk itu diperlukan suatu transportasi laut yang memadai demi kelancaran aktivitas penduduk dan untuk mempersatukan wilayah Indonesia karena peranan pelayaran sangat penting bagi kehidupan sosial, ekonomi, pemeritahan, pertahanan/keamanan dan sebagainya. Kebutuhan akan transportasi laut ini memicu pembangunan infrastruktur di daerah tepi laut, salah satunya pelabuhan.

Bagian bangunan dari pelabuhan yang berperan penting sebagai tempat untuk merapat dan menambatkan kapal yang melakukan bongkar muat dan menaik-turunkan penumpang adalah dermaga. Bangunan atas dermaga terdiri atas pelat lantai dan balok, sedangkan bangunan bawah dermaga adalah pondasi. Sebuah bangunan tidak hanya diperhitungkan kestabilan pada struktur bagian atas-nya saja, tetapi juga harus memiliki kestabilan pada struktur bagian bawah.

Pondasi merupakan bagian bawah dari bangunan yang penting untuk menunjang struktur

bangunan. Pondasi harus di desain dengan baik agar dapat menopang bangunan dan meneruskan beban bangunan termasuk beban luar ke lapisan tanah di bawahnya. Pondasi yang baik harus dapat menahan beban- beban yang bekerja pada pondasi. Salah satu beban yang perlu diperhitungkan pada perencanaan pondasi adalah beban lateral.

Beban lateral merupakan beban yang bekerja tegak lurus tiang sehingga memungkinkan terjadinya pergeseran bila tiang tidak mampu menahannya. Bangunan dermaga cenderung menerima beban lateral yang lebih besar dari pada beban aksial, yaitu berupa beban gelombang dan tumbukan kapal. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis daya dukung lateral pada pondasi tiang agar tidak terjadi kegagalan pada pondasi.

Rumusan Masalah

Karena bangunan dermaga cenderung menerima beban lateral yang besar berupa beban gelombang dan tumbukan kapal, maka perlu dilakukan analisis daya dukung lateral pada tiang pancang untuk mencegah terjadinya kegagalan pada struktur dermaga serta mengetahui besarnya defleksi pada tiang pancang yang dapat terjadi.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui besar gaya gelombang dan beban tumbukan kapal.
2. Mengetahui daya dukung lateral tiang pancang kelompok di dermaga dengan metode Broms, Meyerhof dan Evans-Duncan.
3. Mengetahui besarnya defleksi tiang pancang dermaga akibat beban lateral.

TINJAUAN PUSTAKA

Pondasi Tiang Pancang

Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang pancang/bor. Dikatakan pondasi dalam apabila perbandingan kedalaman dan lebar pondasi yaitu $D/B \geq 4$

Pondasi tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton dan/ atau baja yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat- tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1981).

Pondasi tiang pancang digunakan apabila tanah pada kedalaman normal tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup sehingga tidak mampu memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Hardiyatmo, 2002).

Daya Dukung Tiang Pancang Akibat Beban Lateral

Dalam analisis gaya lateral, tiang dibedakan menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang yaitu tiang ujung jepit (*fixed end pile*) dan tiang ujung bebas (*free end pile*). Model ikatan tersebut sangat mempengaruhi kelakuan tiang dalam mendukung beban lateral. McNulty (1956) mendefinisikan tiang ujung jepit (*fixed end pile*) sebagai tiang yang ujung atasnya terjepit (tertanam) dalam pelat penutup kepala tiang paling sedikit sedalam 60 cm (24 inchi) dan sebaliknya tiang ujung bebas (*free end pile*) adalah tiang yang bagian atasnya tidak terjepit atau terjepit ke dalam pelat penutup tetapi kurang dari 60 cm.

Sebelum menghitung kapasitas lateral tiang tunggal, terlebih dahulu menentukan perilaku tiang tersebut, apakah berperilaku sebagai tiang pendek (*rigid pile*) ataukah tiang panjang (*elastic pile*). Caranya dengan menentukan faktor kekakuan R dan T.

- Untuk tanah berupa lempung kaku terkonsolidasi berlebihan, modulus tanah dapat dianggap konstan di seluruh kedalamannya.

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{K_h \times d}}$$

- Sedangkan untuk tanah lempung terkonsolidasi normal dan tanah granuler, modulus tanah dianggap tidak konstan/ bertambah secara linier dengan kedalamannya.

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}}$$

dimana:

E_p = modulus elastis tiang (kN/m^2)

I_p = momen inersia tiang (m^4)

n_h = koefisien modulus variasi (kN/m^3)

K_h = modulus reaksi subgrade (kN/m^3)

d = diameter tiang (m)

Metode Broms

Metode Broms (1964) dapat digunakan untuk menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik rigid piles maupun long piles yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granuler. Untuk tiang panjang dalam tanah granuler:

$$H_u = \frac{2 M_y}{e + \frac{2f}{3}}$$

Dengan $f = 0,82 \sqrt{\frac{H_u}{dK_p \gamma}}$

dimana:

H_u = daya dukung lateral tiang (kN)

M_y = Momen maksimum yang dapat ditahan tiang (kN.m)

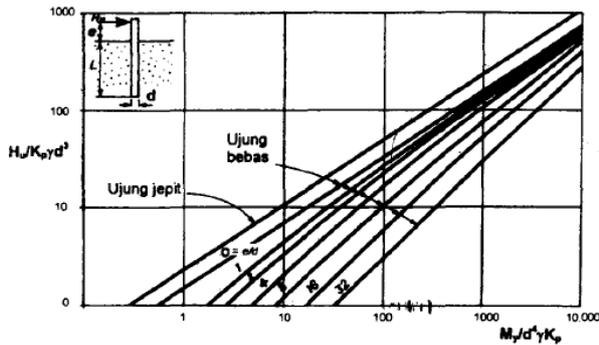
γ = berat volume tanah (kN/m^3)

d = diameter tiang (m)

e = jarak dari titik beban horizontal ke permukaan tanah (m)

K_p = koefisien tekanan tanah pasif

f = jarak kedalaman titik dimana gaya geser sama dengan nol (m)



Gambar 1. Tahanan lateral ultimit pada tanah granuler untuk tiang panjang
Sumber: Hardiyatmo, 2008

Nilai H_u juga dapat diperoleh dengan menggunakan grafik.

Defleksi tiang :

$$\alpha = \left(\frac{n_h}{E_p I_p} \right)^{\frac{1}{5}}$$

dimana:

- n_h = koefisien reaksi *subgrade* (kN/m^3)
- E_p = modulus elastis tiang (kN/m^2)
- I_p = momen inersia tiang (m^4)
- Tiang pendek jika $\alpha L < 2$,

defleksi tiang : $y_o = \frac{2H}{L^2 n_h}$

- Tiang panjang jika $\alpha L > 4$,

defleksi tiang : $y_o = \frac{0.93 H}{(n_h)^{\frac{3}{5}} (E_p I_p)^{\frac{2}{5}}}$

dimana:

- H = beban lateral (kN)
- L = panjang tiang (m)
- n_h = koefisien reaksi *subgrade* (kN/m^3)
- E_p = modulus elastis tiang (kN/m^2)
- I_p = momen inersia tiang (m^4)

Metode Evans dan Duncan

Metode Evans dan Duncan (1982) mengkompilasi grafik-grafik dari beberapa analisis program komputer metode *p-y*. Evans dan Duncan mendefinisikan karakteristik beban lateral (V_c) dan karakteristik beban Momen (M_c) sebagai berikut :

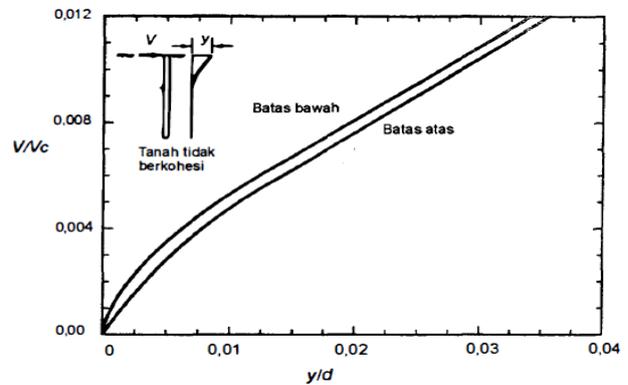
$$V_c = \lambda d^2 E R_1 \left(\frac{\sigma_p}{E R_1} \right)^m (\epsilon_{50})^n$$

$$M_c = \lambda d^3 E R_1 \left(\frac{\sigma_p}{E R_1} \right)^m (\epsilon_{50})^n$$

dimana:

- V_c = karakteristik beban geser
- M_c = karakteristik beban momen
- λ = parameter tak berdimensi tegangan tanah

- E = modulus elastisitas tiang
- f_c' = kuat desak beton umur 28 hari
- σ_r = tegangan referensi = 0,10 Mpa
- R_1 = rasio momen inersia
- σ_p = tekanan pasif tanah
- ϵ_{50} = regangan pada saat 50% kuat geser tanah termobilisasi
- m, n = nilai-nilai eksponen



Gambar 2. Hubungan beban lateral terhadap defleksi lateral untuk tiang ujung jepit pada tanah tak berkoheesi (granuler)
Sumber: Hardiyatmo, 2008

Metode Meyerhof

Meyerhof (1995) memberikan solusi untuk tiang kaku (rigid) dan tiang fleksibel pada tanah pasir berdasarkan kekakuan relatif K_r untuk tanah pasir :

Jika $K_r = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \geq 0,1$ maka termasuk dalam tiang pendek (kaku), sehingga:

$$H_{u(g)} = 0,125 \gamma D L^2 K_b$$

Jika $K_r = \frac{E_p I_p}{E_s L^4} \leq 0,01$, maka termasuk dalam tiang pendek (kaku). Beban lateral dapat dihitung dengan persamaan dengan mensubstitusikan panjang tiang efektif (L_e) untuk L .

$$L_e = 1,65 K_r^{0,12}$$

$$Q_{u(g)} = 0,125 \gamma D L_e^2 K_b$$

dimana:

- γ = berat volume tanah
- D = diameter tiang (m)
- L = panjang tiang tertanam (m)
- K_b = koefisien tekanan tanah lateral = $(k_p - k_a) \cdot S_{bu}$
- $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$
- $K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$
- S_{bu} = faktor bentuk tiang pancang

Defleksi tiang: $y_o = \frac{I_{yh}H}{E_h L_e}$

dimana:

- y_o = defleksi tiang (mm)
- I'_{yh} = faktor pengaruh untuk H_u
- $L_e = 2,3 kr^{0.2} L$

Tabel 1. Faktor pengaruh untuk beban horizontal

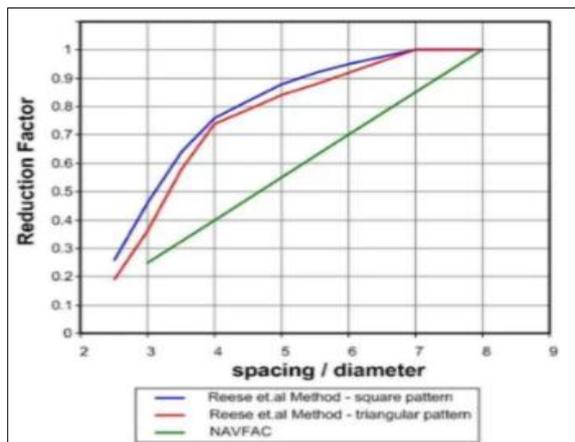
L/D	I'_{yh}
10	3
25	4
50	4,8
100	5,1

Sumber : Meyerhof, Valsangkar, 1981.

Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Kelompok

Untuk menghitung nilai daya dukung lateral kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan faktor reduksi.

Faktor reduksi yang paling sederhana diberikan oleh Reese dkk berdasarkan full scale test pada sejumlah tiang. Dimana faktor reduksi ini dipengaruhi oleh ratio s/d yaitu jarak tiang dibagi diameter tiang. Reese membedakan susunan tiang sebagai square pattern dan triangular pattern.



Gambar 3. Faktor reduksi
Sumber : Balamba, 2018

$$H_{group} = \text{Faktor reduksi} \times n \times H_u$$

dimana:

- H_u = Daya dukung lateral tiang tunggal
- H_{group} = Daya dukung lateral tiang kelompok

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Persamaan Morison

Persamaan Morison mengasumsikan bahwa gaya gelombang adalah terdiri dari komponen gaya inersia (inertia) dan gaya hambatan (drag), yang dijumlahkan secara linier.

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot C_D \cdot D \cdot |u| \cdot u + \frac{\rho}{g} \cdot C_m \cdot \frac{\pi D^2}{4} a_x$$

dimana :

- ρ = massa jenis air laut (ton/m³)
- C_D = koefisien drag
- C_m = koefisien inersia
- u = kecepatan horizontal air (m/det)
- a_x = percepatan horizontal air (m/det²)
- D = diameter tiang (m)

Teori Gelombang Stokes Orde ke-5

G. G. Stokes pada tahun 1847 mengembangkan suatu teori gelombang yang merupakan pengembangan dari teori Airy. Metode Stokes menambah dan mengembangkan suatu pemecahan masalah gelombang dalam bentuk serial kemudian menentukan koefisien-koefisien untuk masing-masing persamaan gelombang

$$F = F_D + F_I$$

$$F_D = \frac{\rho \cdot C_D \cdot D \cdot \omega^2}{2k^3} \sum_{m=1}^4 \sum_{n=1}^{5-m} A_{mn} |\cos m\omega t| \cos n\omega t$$

$$F_I = -\frac{\rho \cdot C_m \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \omega^2}{4k^2} \cdot \sum_{n=1}^5 B_n \cdot \sin n\omega t$$

dimana:

- ρ = massa jenis air (kg/cm³)
- C_D = koefisien drag
- C_m = koefisien inersia
- D = diameter tiang (m)
- k = konstanta gelombang
- ω = frekuensi gelombang

Beban Gelombang pada Tepi Dermaga

Gaya gelombang pada tepi dermaga diturunkan dari OCDI:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2 \cdot k \cdot \cosh kh} [(\sinh k(h + s + t) - \sinh k(h + s))]$$

dimana :

- P = gaya gelombang pada tepi lantai dermaga (N/m)
- ρ = berat jenis air laut (kg/m³)
- g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)
- h = kedalaman air laut (m)
- H = tinggi gelombang (m)
- k = bilangan gelombang ($2\pi/L$)
- L = panjang gelombang (m)
- S = elevasi - HWS - t (m)
- t = tebal pelat dermaga (m)

Beban Tumbukan Kapal (Berthing Forces)

Besarnya energi benturan yang diberikan oleh kapal menurut OCDI sebagai berikut :

$$E = \frac{W \times V^2}{2g} \times C_m \times C_e \times C_s \times C_c$$

- E = energi benturan kapal (ton)
- W = berat total kapal (ton)
- V = kecepatan kapal saat merapat (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
- C_e = koefisien eksentrisitas
- C_m = koefisien massa
- C_s = koefisien kekerasan (= 1,0)
- C_c = koefisien bentuk tambahan (=1,0)

Penyerapan Fender

Energi yang diserap oleh sistem fender dan dermaga biasanya ditetapkan (Triatmodjo, 1996):

$$F = \frac{E}{2}$$

dimana:

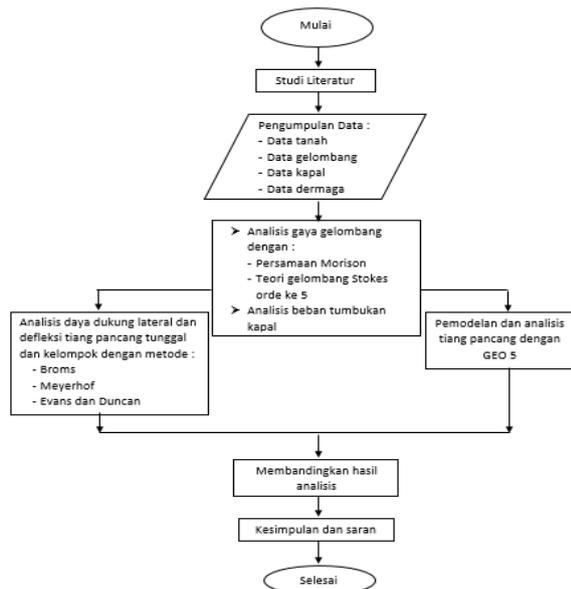
- F = energi yang diserap oleh fender (ton)
- E = energi berthing (ton)

GEO 5

GEO 5 merupakan perangkat lunak yang dikembangkan FineSoftware yang digunakan untuk memecahkan masalah geoteknik berdasarkan metode analitis dan metode elemen hingga. GEO 5 terdiri dari serangkaian program individu sesuai jenis struktur yang membuat GEO 5 mudah digunakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Gelombang

Dihitung dengan persamaan Morison didapatkan hasil sebagai berikut :

Parameter gelombang:

No	Tinggi Gelombang	Periode Gelombang	Panjang Gelombang	Kecepatan	Percepatan
	(m)	(s)	(m)	(m/s)	(m/s ²)
1	0,573	5,314	34,926	1,200	0,0779
2	0,887	6,136	42,003	1,460	0,0820
3	1,239	6,853	48,028	1,766	0,0889
4	1,513	7,319	51,893	2,006	0,0945
5	1,746	7,673	54,801	2,210	0,0993

Gaya gelombang :

Gaya Gelombang			
Gaya Gelombang pada Tiang (ton)	Gaya Gelombang di Tepi (ton)	Total	
		ton	kN
0,181	2,518	2,699	26,98766
0,260	3,622	3,881	38,81249
0,372	4,843	5,215	52,15149
0,475	5,782	6,257	62,56788
0,572	6,575	7,148	71,47569

Dihitung dengan Metode Stokes orde ke-5:

n	G _n	U _n	V _n	S _n
1	0,221100	0,394709	0,259348	0,496918
2	0,008900	0,012111	0,011116	0,045180
3	-0,000200	-0,000277	-0,000272	-0,002989
4	0,000023	0,000034	0,000034	0,000344
5	0,000001	0,000002	0,000002	0,000014

A11,A12,A13,A14	A21, A22, A23	A31, A32	A41	
0,002793	0,582821	0,028216	-0,000051	
0,582821	0,000002	0,582880		
0,028216	-0,582880			
-0,001355				
0,612474	-0,000057	0,611096	-0,000051	Total 1,223463

$\rho \cdot C_D \cdot D \cdot \omega^2$ 2k ³	F	
	kg	ton
410,8642435	502,677	0,503

Analisis Beban Tumbukan Kapal

$$E = \frac{WV^2}{2g} C_m C_e C_s C_c$$

$$= \frac{1766(0,15)^2}{2 \times 9,81} \times 1,948 \times 0,478 \times 1,0 \times 1,0$$

$$= 1,885 \text{ ton}$$

Nilai beban tumbukan kapal terfaktor
 $E = 1,885 \text{ ton} \times 1,75 = 3,298 \text{ ton}$

Penyerapan fender :

$$F = \frac{3,298}{2} = 1,649 \text{ ton}$$

Sehingga total beban lateral akibat gaya gelombang dan beban tumbukan kapal:

$$\begin{aligned} H &= 7,148 \text{ ton} + 1,649 \text{ ton} \\ &= 8,797 \text{ ton} \\ &= 87,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

Metode Broms

Cara grafis :

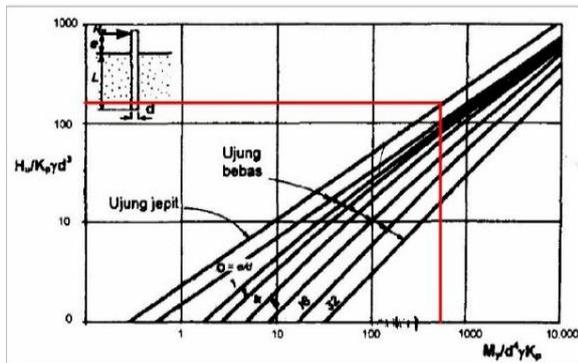
$$\frac{M_y}{d^4 \gamma K_p} = \frac{2892,496}{0,508^4 \times 19,15 \times 4,096} = 553,719$$

Dari gambar 5, dengan interpolasi maka diperoleh nilai:

$$\begin{aligned} \frac{H_u}{K_p d^3 \gamma} &= 160,410 \\ H_u &= 160,410 \times 4,096 \times 0,508^3 \times 19,15 \\ &= 1649,493 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil angka keamana $F = 3$, maka :

$$H = \frac{H_u}{F} = \frac{1649,493}{3} = 549,8309 \text{ kN}$$



Gambar 5. Tahanan lateral ultimit pada tanah granuler untuk tiang panjang

Defleksi tiang:

No	Beban Lateral (H)	Defleksi (y_0)	
	kN	m	mm
1	43,48	0,00068	0,68
2	55,30	0,00087	0,87
3	68,64	0,00107	1,07
4	79,06	0,00124	1,24
5	87,97	0,00138	1,38

Metode Evans dan Duncan

$$\begin{aligned} \sigma_p &= 2 \left(\frac{\varphi}{10} \right) \gamma d t g^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \\ &= 2 \times \left(\frac{37,41}{10} \right) \times 19,15 \times 0,508 \times t g^2 \left(45 + \frac{37,41}{2} \right) \\ &= 298,113 \text{ kN/m}^2 \\ V_c &= \lambda d^2 E R_1 \left(\frac{\sigma_p}{E R_1} \right)^m (\epsilon_{50})^n \\ &= 1 \times 0,508^2 \times 2,059 \times 10^8 \times 1 \times \left(\frac{298,113}{2,059 \times 10^8 \times 1} \right)^{0,57} (0,002)^{-0,22} \\ &= 97905,139 \text{ kN} \end{aligned}$$

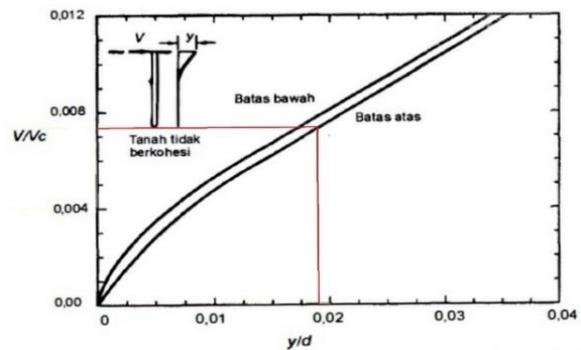
Untuk menghitung besar daya dukung lateral tiang menggunakan grafik, perlu diasumsikan nilai defleksi tiang (y) sebesar 0.01 m.

Maka diperoleh nilai $\frac{y}{d} = \frac{0,01}{0,508} = 0,019$.

Nilai tersebut kemudian di plot pada gambar 6 sehingga diperoleh nilai $V/V_c = 0,00734$.

Maka,

$$\begin{aligned} V &= 0,00734 \times 97905,139 \text{ kN} = 718,256 \text{ kN} \\ H_u &= 718,256 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 6. Grafik hubungan beban lateral terhadap defleksi lateral untuk tiang ujung jepit pada tanah tak berkohesi (granuler)

Defleksi tiang :

No	Beban Lateral (V)	V/Vc	y/d	Defleksi (y_0)	
	Kn			m	mm
1	43,48	0,00141	0,0021	0,00038	0,38
2	55,30	0,00195	0,0031	0,00047	0,47
3	68,64	0,00256	0,0042	0,00059	0,59
4	79,06	0,00302	0,0053	0,00070	0,70
5	87,97	0,00342	0,0061	0,00078	0,78

Metode Meyerhof

$$\begin{aligned} K_r &= \frac{E_p I_p}{E_s L^4} = \frac{(2,059 \times 10^8)(3,269 \times 10^{-3})}{21000 \times 17^4} \\ &= 0,00038 < 0,01 \text{ (tiang panjang).} \end{aligned}$$

$$H_{u(g)} = 0,125 \gamma D L e^2 K_b$$

Karena termasuk tiang panjang, sehingga perlu dihitung panjang efektif (L_e).

$$L_e = 1,65 K_r^{0,12} L$$

$$= 1,65 \times 0,00038^{0,12} \times 17 = 10,915 \text{ m}$$

Menghitung K_b

$$K_b = (k_p - k_a) \cdot S_{bu}$$

$$k_p = \tan^2(45 + \phi/2) = \tan^2(45 + 37,41/2) = 4,096$$

$$k_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 37,41/2) = 0,244$$

$$S_{bu} = 4,5$$

$$K_b = (4,096 - 0,244) \cdot 4,5 = 17,332$$

$$H_u = 0,125 \times 19,15 \times 0,508 \times 10,915^2$$

$$\times 17,332 = 2511,044 \text{ kN}$$

$$H = \frac{H_u}{F} = \frac{2511,044}{3} = 837,0145 \text{ kN}$$

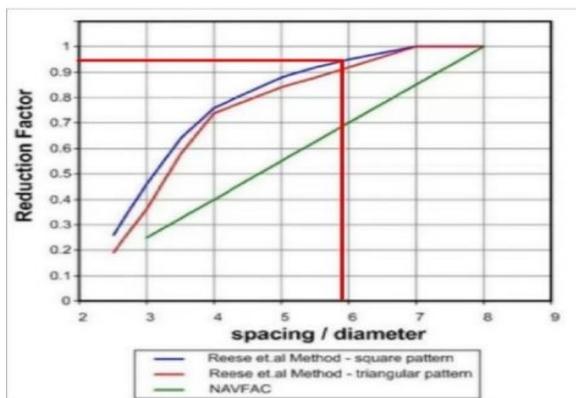
Defleksi tiang :

No	Beban Lateral (H)	Defleksi (y_0)	
	Kn	m	mm
1	43,48	0,0011	1,09
2	55,30	0,0014	1,39
3	68,64	0,0017	1,72
4	79,06	0,0020	1,98
5	87,97	0,0022	2,21

Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok

$$\frac{s}{d} = \frac{3 \text{ m}}{0,508 \text{ m}} = 5,9$$

Sehingga dengan grafik didapat faktor reduksi = 0,945

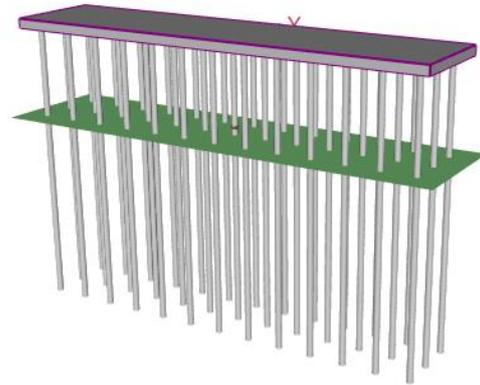


Gambar 6. Faktor reduksi

Daya dukung tiang kelompok dengan berbagai metode :

Metode	Daya Dukung Lateral Tiang Tunggal (kN)	Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok (kN)
Broms	549,8309	20264,016
Meyerhof	837,0145	30848,170
Evan Duncan	718,2560	26471,326

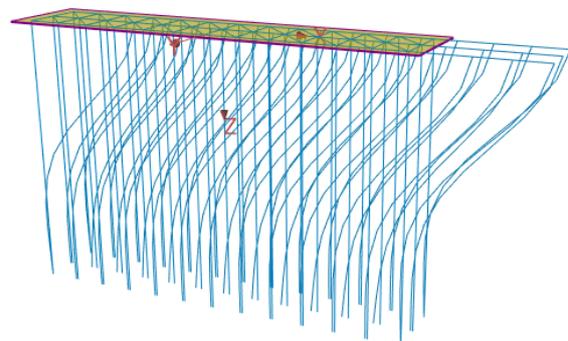
Perhitungan Tiang Pancang dengan GEO5



Gambar 7. Pemodelan tiang dengan GEO 5

Hasil analisis dengan GEO 5:

Maximum displacements (only service load cases)	
Max. settlement	= 25.8 mm
Maximum horizontal displacement of pile cap	= 1.2 mm
Max. rotation of pile cap	= 4,2E-04 °
The depth of substitute found.	d = 11.33 m
Maximum service load	N = 20580.82 kN
Depth of influence zone	h = 8.72 m
Settlement of pile group	s = 41.0 mm



Gambar 8. Defleksi tiang

Dari analisis dengan GEO 5 didapat bahwa :
Daya dukung lateral tiang kelompok dengan GEO 5 = 20580,820 kN

Defleksi tiang = 1,2 mm

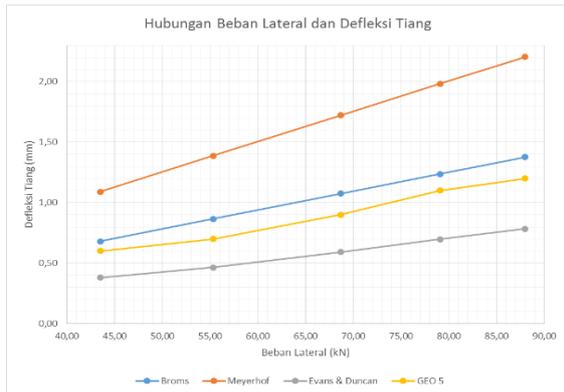
Perbandingan daya dukung lateral tiang kelompok dengan berbagai metode

Metode	Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok (kN)
Broms	20264,016
Meyerhof	30848,170
Evan & Duncan	26471,326
GEO 5	20580,820

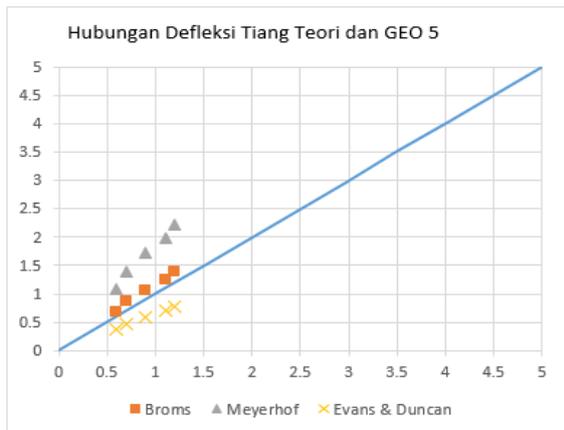
Tabel 2. Perbandingan defleksi tiang dengan berbagai metode

No	Beban Lateral (kN)	Defleksi (mm)			
		Broms	Meyerhof	Evans & Duncan	GEO 5
1	43,48	0,68	1,09	0,38	0,6
2	55,30	0,87	1,39	0,47	0,7
3	68,64	1,07	1,72	0,59	0,9
4	79,06	1,24	1,98	0,70	1,1
5	87,97	1,38	2,21	0,78	1,2

Dari hasil analisis tiang pancang kelompok di dermaga Belang menunjukkan bahwa besar kapasitas lateral dan defleksi tiang pancang kelompok yang dianalisis dengan metode Meyerhof hasilnya paling besar diantara metode lainnya. Tetapi nilai defleksi tiang yang paling mendekati nilai defleksi yang di analisis dengan GEO 5 adalah nilai defleksi dari metode Broms.



Gambar 9. Hubungan beban lateral dan defleksi tiang dengan berbagai metode



Gambar 10. Hubungan defleksi maksimum tiang teori dan GEO5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar gaya gelombang maksimum yang dihitung dengan menggunakan metode Morison dan Stokes menghasilkan nilai sebesar 0,572 ton dan 0,503 ton. Besar beban tumbukan kapal 1,649 ton
2. Daya dukung lateral tiang pancang kelompok yang dianalisis dengan metode Broms sebesar 20264,016 kN, dengan metode Meyerhof sebesar 30848,170 kN, dengan metode Evans dan Duncan sebesar 26471,326. Sedangkan dengan GEO5 sebesar 20580,82 kN. Berdasarkan hasil tersebut, maka analisis dengan metode Meyerhof memperoleh hasil yang paling besar diantara metode lainnya.
3. Besar defleksi tiang maksimum yang di analisis dengan metode Broms sebesar 1,38 mm, dengan metode Meyerhof sebesar 2,21 mm, dengan metode Evan dan Duncan sebesar 0,78 mm. Sedangkan dengan GEO 5 sebesar 1,2 mm. Berdasarkan hasil tersebut maka, analisis dengan metode Meyerhof memperoleh hasil yang paling besar diantara metode lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

Agour, M. Sherif. 2002. *Updating bearing Capacity – SPT Graphs*. Maryland: City and Environmental Engineering Departement, University of Maryland.

Balamba, Sjachrul., 2018. *Analisis Pengaruh Jumlah Tiang dan Tebal Kepala Tiang (Pile Cap) pada Tanah Pasir dan Lempung Terhadap Defleksi Tiang Pancang Akibat Beban Lateral*. Disertasi. Malang: Universitas Brawijaya.

- Bitty, Stania Ekarista, Sj. Balamba, Alva N. Sarajar, 2015. *Analisis Kelelahan Struktur pada Tiang Pancang di Dermaga Amurang dengan Metode S-N Curve*. TEKNO Vol.13/No.63/Agustus 2015
- Bowles, J. E. 1993. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2 edisi keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J.E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. United States of America: McGraw-Hill, Inc.
- Das, Braja. 1999. *Principles of Foundation Engineering*. California: Cole Publishing Company.
- Dawson, Thomas H. 1983. *Offshore Structural Engineering*. New Jersey: Prentice- Hall.
- Hardiyatmo, H. C. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 1996. *Teknik Fondasi 1*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. 2008. *Teknik Fondasi 2*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. C. . 2001. *Teknik Fondasi II Edisi ke-1*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Indiyono, P. 2004. *Hidrodinamika Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: SIC.
- Kasumigaseki, Chiyoda-ku. 2002. *Technical Standards For Port And Harbour Facilities in Japan*. Tokyo: The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI).
- Lambe, and Whitman. 1969. *Soil Mechanics*. New York: John Wiley Sons.
- Meyerhof, and Valsangkar. 1981. *Lateral Resistance and Deflection of Rigid Walls and Piles in Layered Soils*. Ottawa: National Research Council of Canada.
- Nelwan, Koinonia, Sj. Balamba, Alva N. Sarajar, 2015. *Analisis Kelelahan Struktur pada Tiang Pancang di Dermaga Belang dengan Metode Fracture Mechanics*. TEKNO Vol.13/No.63/ Agustus 2015.
- Rahman, Md. Manzur. 2017. *Foundation Design Using Standard Penetration Test (SPT) N-Value*. Bangladesh: Bangladesh University of Engineering and Technology.
- Sardjono, H. S. 1988. *Tiang Pancang Jilid 1*. Surabaya: Penerbit Sinar Wijaya.
- Setepu, Tika Andani. 2014. *Analisis Konfigurasi Pondasi Tiang Pancang Kernel Jetty Terhadap Gaya Lateral pada Pembangunan Jetty Pulau Laut*. Sumatera Selatan: Universitas Sriwijaya.
- Sosrodarsono, S, and Kazuto N. 1988. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Sunarto. 2003. *Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Tomlinson, M. J. 1994. *Pile Design and Construction Practice*. New York: E & FN SPON.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wardenier, J. 2001. *Hollow Sections in Structural Applications*. The Netherlands: Delft University of Technology.

WOODWARD-CLYDE. 1980. *Assessment of the Morison Equation*. Houston: Defense Technical Information Center.