

STUDI KESTABILAN PERKUATAN TEBING DERMAGA QUAY WALL DI MATAN KABUPATEN KAYONG UTARA

Desi Alfianti¹⁾, Eka Priadi²⁾, Ahmad Faisal³⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak

^{2,3)} Dosen Teknik Sipil, Universitas Tanjungpura Pontianak

Email : desialfianti94@gmail.com

ABSTRAK

Tebing Dermaga Matan 1 berupa sheet pile mengalami ketidak stabilan sehingga diperlukan perkuatan sheet pile. Perkuatan Sheet pile direncanakan menggunakan tiang baja. Sheet pile yang telah diperkuat dengan tiang akan dianalisa dengan menggunakan perhitungan manual dan bantuan program plaxis professional 8.2. Pada program plaxis professional 8.2 akan didapatkan hasil analisa berupa angka kekuatan yang diperoleh tebing (sheet pile) sebelum diperkuat dan yang telah diperkuat dengan tiang. Pada perhitungan dan hasil analisa didapatkan nilai gaya lateral izin (Q_{all}) yaitu 12,569 ton. Pada sheet pile yang telah diperkuat dengan tiang, nilai momen sheet pile adalah $1,1608 \text{ ton}\cdot\text{m} < 19,4 \text{ ton}\cdot\text{m}$ (momen crack untuk sheet pile), dinyatakan aman, sedangkan faktor keamanan, SF yang terjadi pada sheet pile yang diperkuat dengan tiang adalah $8,133 > 2$ (faktor keamanan minimum) sehingga dinyatakan aman.

Kata Kunci: Faktor keamanan (SF), gaya lateral izin, momen sheet pile, perkuatan sheet pile, program plaxis professional 8.2.

ABSTRACT

The Matan 1 cliff in the form of sheet pile is experiencing instability so that sheet pile reinforcement is required. Sheet pile reinforcement is planned using steel poles. Sheet piles that have been reinforced with piles will be analyzed using manual calculations and the assistance of the Plaxis Professional 8.2 program. In the professional plaxis 8.2 program, analysis results will be obtained in the form of strength numbers obtained by cliffs (sheet pile) before being reinforced and those that have been reinforced with poles. In the calculation and analysis results obtained the value of the lateral force force (Q_{all}) is 12.569 tons. On sheet piles that have been reinforced with piles, the sheet pile moment value is $1.1608 \text{ ton}\cdot\text{m} < 19.4 \text{ ton}\cdot\text{m}$ (crack moment for sheet pile piles), declared safe, while the safety factor, SF that occurs in the sheet pile reinforced with poles is $8,133 > 2$ (minimum safety factor) so that it is declared safe.

Keywords: Safety factor (SF), permit lateral force, sheet pile moment, sheet pile reinforcement, professional plaxis 8.2 program.

I. PENDAHULUAN

Dermaga yang akan dibangun di Matan 1 Kabupaten Kayong Utara pada proyek pekerjaan perencanaan dermaga matan 1 akan digunakan oleh kapal ponton untuk berlabuh. Pada kasus ini, tebing dermaga mengalami ketidakstabilan.

Salah satu perkuatan tebing yang biasa digunakan adalah konstruksi berbentuk *sheet pile*. *Sheet pile* biasanya digunakan sebagai dinding penahan tanah, penahan tebing galian, struktur bawah tanah, perlindungan tepi sungai, dinding dermaga, dok kapal dan lain sebagainya.

Dalam merencanakan *sheet pile* yang perlu di perhatikan adalah kedalaman *sheet pile* dan jenis tanah. Kedalaman dan jenis tanah pada perencanaan *sheet pile* berfungsi menentukan kekuatan dari *sheet pile* dan menentukan parameter tanah, dalam perhitungan gaya lateral yang terjadi pada *sheet pile*.

Kegagalan *sheet pile* dalam melaksanakan fungsinya, bisa diakibatkan antara lain: deformasi tanah, pengaruh muka air tanah, gaya tekanan lateral tanah akibat beban di atasnya, usia konstruksi, struktur tanah dan lain sebagainya.

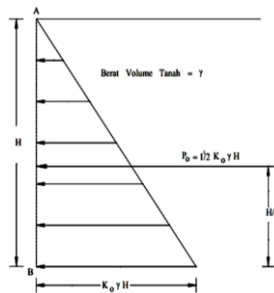
Tujuan penulisan ini adalah untuk menganalisa kestabilan perkuatan tebing dermaga berupa *sheet pile* yang diperkuat dengan menggunakan tiang berdasarkan data yang diperoleh di Dermaga Kampung Seringgit pada proyek pekerjaan perencanaan dermaga matan 1, Kampung Seringgit, Kabupaten Kayong Utara, dengan menggunakan bantuan program *plaxis professional 8.2*.

Dengan menganalisa kestabilan perkuatan tebing dermaga yang diperkuat dengan tiang berdasarkan data yang diperoleh di dermaga kampung seringgit dengan menggunakan bantuan program *plaxis professional 8.2*, akan didapatkan hasil analisa berupa angka

kekuatan yang diperoleh tebing (*sheet pile*) yang telah diperkuat dengan tiang.

Tekanan Tanah Lateral Saat Diam

Tekanan tanah diam adalah tekanan tanah yang terjadi akibat massa tanah pada dinding penahan dalam keadaan seimbang. Selama proses pengendapan, tanah mengalami konsolidasi, karena pengaruh tekanan *overburden* (σ_v). Tekanan vertikal menimbulkan perubahan bentuk ke arah lateral oleh pengaruh angka Poisson. Tanah di sekitarnya menahan perubahan ke arah lateral dengan mengembangkan tekanan lateral sebesar σ_h . Setelah waktu yang lama, konsolidasi dan rangkai (*creep*) arah vertikal dan lateral menjadi nol atau telah terjadi kedudukan tegangan - tegangan yang telah stabil, dengan σ_v dan σ_h menjadi tegangan-tegangan efektif utamanya. Kondisi keseimbangan di tempat yang dihasilkan dari kedudukan tegangan-tegangan dengan tanpa terjadinya tegangan geser didefinisikan sebagai kondisi K_o . Nilai $K_o = \sigma_h/\sigma_v$, maka $\sigma_h = K_o\gamma H$. Berikut distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam terlihat pada Gambar 1,



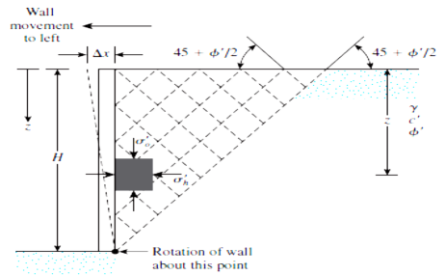
Gambar 1. Distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam

Gambar 1 menunjukkan distribusi tekanan tanah dalam keadaan diam yang bekerja pada dinding setinggi H. Gaya total per satuan lebar dinding, P_o adalah sama dengan luas dari diagram tekanan tanah yang bersangkutan atau $P_o = 1/2K_o\gamma H^2$.

Tekanan Tanah Aktif

Suatu dinding penahan tanah mengalami keruntuhan, bergerak ke arah luar dari tanah urug di belakangnya, sehingga tanah urug menekan dinding penahan tanah tekanan seperti ini disebut tekanan tanah yang aktif.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, akibat dinding penahan berotasi ke kiri terhadap titik A, maka tekanan tanah yang bekerja pada dinding penahan akan berkurang perlahan-lahan sampai mencapai suatu harga yang seimbang. Tekanan tanah yang mempunyai harga tetap atau seimbang dalam kondisi ini disebut tekanan tanah aktif (*active earth pressure*).



Gambar 2. Dinding yang berotasi akibat tekanan tanah aktif

Untuk tanah berpasir tidak kohesif, besar gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah aktif pada dinding setinggi H dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$P_a = 1/2\gamma H^2 K_a \quad (1)$$

Keterangan :

K_a = Koefisien tanah aktif

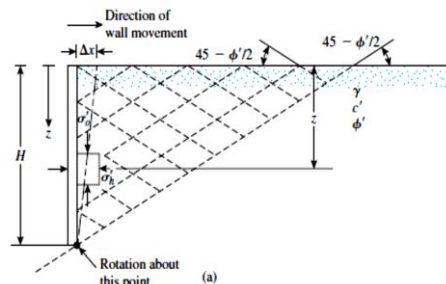
γ = Berat isi tanah (g/cm^3)

H = Tinggi dinding (m)

ϕ = Sudut geser tanah ($^{\circ}$)

Tekanan Tanah Pasif

Jika suatu gaya mendorong dinding penahan ke arah tanah urug seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3,



Gambar 3. Dinding yang berotasi melawan tekanan tanah aktif

Pada Gambar 3 tekanan tanah dalam kondisi ini disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*). Adapun langkah yang dipakai untuk tanah granuler, maka tegangan utama arah horizontal untuk kondisi pasif adalah:

$$P_p = 1/2\gamma H^2 K_p \quad (2)$$

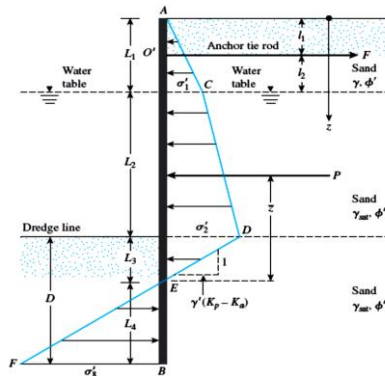
Keterangan :

P_p = tekanan tanah pasif

Nilai tekanan tanah pasif lebih besar dari nilai koefisien tekanan tanah saat diam dan koefisien tekanan tanah aktif, atau $K_p > K_0 > K_a$.

Diagram Tekanan Tanah Lateral Pada Pasir Diangkur

Gambar 4 berikut ini merupakan diagram tekanan tanah lateral pada tanah pasir dimana *sheet pile* diperkuat dengan angkur.



Gambar 4. Diagram tekanan tanah *sheet pile* pada pasir dengan angkur

Gambar 4 pada diagram di atas dapat dilihat tegangan total = 0, berada di bawah garis galian pada kedalaman $Z = L_1 + L_2 + L_3$.

Dimana :

$$L_3 = \sigma'_2 / (\gamma'(K_p - K_a)) \quad (3)$$

Pada kedalaman $Z = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$, total tegangan sama dengan :

$$\sigma'_8 = \gamma'(K_p - K_a)L_4 \quad (4)$$

Untuk keseimbangan *sheet pile*, $\Sigma H = 0$, $\Sigma M_O = 0$, tegangan diagram ACDE – tegangan diagram EBF – $F = 0$ atau

$$P - \frac{1}{2} \sigma'_8 L_4 - F = 0 \quad (5)$$

$$\text{Jadi, } F = P - \frac{1}{2} \gamma'(K_p - K_a)L_4^2 \quad (6)$$

Untuk mendapatkan nilai L_4 harus dilakukan *trial and error* dengan menggunakan rumus :

$$L_4^3 + 1,5L_4^2(l_2 + L_2 + L_3) - \frac{3P((L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{Z} + l_1))}{\gamma'(K_p - K_a)} = 0 \quad (7)$$

Nilai D adalah

$$D_{(\text{theoretical})} = L_3 + L_4 \quad (8)$$

$$D_{(\text{Actual})} = 1,3 \text{ to } 1,4 D_{(\text{theoretical})} \quad (9)$$

Angkur

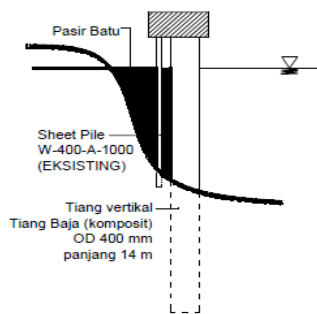
Angkur diikat pada *sheet pile* menggunakan *tie rods*. Kekuatan angkur didapatkan dari tekanan pasif tanah yang berada di depan angkur. Kegagalan suatu dinding penahan tanah atau *sheet pile* yang menggunakan angkur untuk menahan tanah yang ada di belakangnya bisa disebabkan misalnya sebagai berikut :

1. Ikatan *sheet pile* dengan *tie rod* tidak kuat atau tidak dapat berfungsi untuk menahan *sheet pile* jika mengalami kegagalan.
2. Peletakkan angkur berada didaerah tegangan aktif, sehingga angkur yang dipasang tidak berfungsi sama sekali.
3. Angkur berada cukup dekat dengan tanah aktif atau jarak angkur terhadap *sheet pile* kurang jauh.
4. Penggunaan *tie rod* yang berukuran kecil dari pada seharusnya atau *tie rod* putus dari ikatannya.

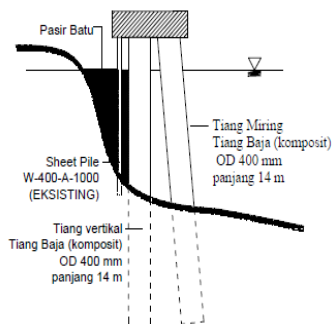
II. METODOLOGI

Penelitian dilakukan adalah mengumpulkan data berupa data-data sekunder dan berupa gambar kerja (*shop drawing*) yang didapat dari pada proyek pekerjaan perencanaan dermaga matan 1, Kampung Seringgit, Kabupaten Kayong Utara. Data yang dikumpulkan adalah data yang merupakan hasil pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, dan data lapangan berupa data ukur topografi, dan data Bor-Log. Data tersebut diolah untuk mendapatkan sifat fisik dan sifat mekanis tanah. Seterusnya akan dianalisa menggunakan program, yakni *Plaxis Professional 8.2* untuk mengetahui kestabilan *sheet pile* pada tebing dermaga.

Sheet pile di tebing dermaga Matan 1 yang di tanam dengan angkur yang mengalami ketidakstabilan sehingga direncanakan akan diperkuat dengan tiang pancang. Tiang pancang yang direncanakan untuk digunakan pada dermaga matan ini merupakan jenis tiang pancang (pipa baja yang diisi beton). Perhitungan perencanaan tiang yang dilakukan ada 2 pemodelan *sheet pile* yang diperkuat dengan tiang yaitu pemodelan pertama, *sheet pile* yang diperkuat dengan tiang vertikal (lihat Gambar 5) dan pemodelan kedua, *sheet pile* yang diperkuat dengan tiang vertikal dan tiang miring (lihat Gambar 6). Pemodelan yang dimaksud digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5. Sheet pile yang diperkuat dengan tiang vertikal



Gambar 6. Sheet pile yang diperkuat dengan tiang vertikal dan tiang miring

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 merupakan tiang pancang yang akan ditanam di dermaga pada perencanaan dermaga di Kampung Seringgit, direncanakan akan dihitung jarak antar tiang dari kedua model tiang tersebut.

Gaya lateral tiang (Q_{all}) dihitung berdasarkan metode Davisson and Gill (1963). Berikut rumus yang digunakan untuk perhitungan defleksi tiang (x_z),

Rumus :

$$X_z = A_x \frac{Q_g R^3}{E_p I_p} + B_x \frac{M_g R^2}{E_p I_p} \quad (10)$$

Pada analisa ini akan didapatkan nilai beban izin (Q_{all}) hasil perhitungan statis pada dermaga. Selanjutnya dilakukan perhitungan tekanan tanah pada sheet pile, dengan menghitung gaya lateral pada sheet pile akan didapatkan gaya lateral yang terjadi pada sheet pile. Jika nilai gaya lateral yang didapatkan \leq gaya lateral izin (Q_{all}) maka sheet pile yang direncanakan aman.

Selanjutnya, overall stability akan menggunakan Program Plaxis Professional 8.2 yang dimana akan didapatkan deformasi struktur dinding sheet pile, faktor keamanan dan momen pada tiang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Dinding Penahan (Sheet Pile), Tiang dan Laboratorium

Untuk nilai dimensi sheet pile tipe W-400-A-1000 diperlihatkan pada Tabel 1 berikut,

Tabel 1. Nilai dimensi sheet pile

Nama	Simbol	Nilai	Satuan
Lebar	B	996	Mm
Tinggi	H	400	Mm
Ketebalan	T	120	Mm
Berat	W	400	Kg/m
Momen Crack	M	19,4	Ton/m

Tiang yang digunakan adalah tiang pipa baja yang diisi dengan beton. Mutu beton yang digunakan sebagai isian tiang pipa baja adalah $K = 175$ atau $f'_c = 0,83 * K = 14,53$ mpa. Tabel 2 berikut memperlihatkan data tiang yang akan digunakan perhitungan,

Tabel 2. Data tiang pipa baja

Nama	Rumus	Nilai	Satuan
Tebal tiang pipa	T	-	9 mm
Diameter Luar pipa	D_1	-	400 mm
Diameter dalam pipa	D_2	$D_1 - 2t$	382 mm
Luas penampang luar	A_1	$1/4\pi D_1^2$	0,126 m ²
Luas penampang dalam (A_c)	A_2	$1/4\pi D_2^2$	0,115 m ²
Luas penampang pipa	A_s	$A_1 - A_2$	0,011 m ²
Modulus elastisitas baja	E_s	-	200.000 mpa
Tegangan leleh	f_y	-	210 mpa
Tegangan leleh tulangan	f_{yr}	-	390 mpa
Panjang Tiang	L	-	14 m
Panjang tertanam			11 m

Data laboratorium merupakan data sifat fisik dan sifat mekanis tanah. Tabel 3 berikut adalah data sifat fisik dan sifat mekanis tanah yang akan digunakan.

Tabel 3. Data sifat fisik dan sifat mekanis tanah

N O	No Sam pel	Kedala man M	W %	C KN/ m ²	Φ °	E
1	BH. 1.1	5,5 - 6,0	74.2 58	10.00 28	7.29 4	1.9 61
	BH. 1.2	9,5 - 10	42.5 72	18.73 07	17.6 77	1.2 08
	BH. 2.1	3,5 - 4,0	77.8 07	10.88 54	6.19 8	2.1 25
2	BH. 2.2	7,5 - 8,0	20.1 55	16.08 29	13.1 81	0.5 87
	BH. 3.1	5,5 - 6,0	71.8 08	12.06 22	7.01 8	2.0 17
	BH. 3.2	9,5 - 10	18.5 82	8.237 59	10.9 29	0.7 27
3	BH. 4.1	5,5 - 6,0	71.1 15	12.65 06	7.83 5	1.8 15
	BH. 4.2	9,5 - 10	19.1 89	9.120 18	12.6 53	0.6 69

N O	No Sa mpe l	Kedal aman M	Gs	Yd KN/ m ³	Yw KN /m ³	Ysa t KN/ m ³	Y KN/ m ³
1	BH. 1.1	5,5 - 6,0	2. 62 3	8.69 166	9.8 1	15.1 871	15.1 459
	BH. 1.2	9,5 - 10	2. 63 4	11.7 033	9.8 1	17.0 698	16.6 857
	BH. 2.1	3,5 - 4,0	2. 65	8.31 888	9.8 1	14.9 897	14.7 916
2	BH. 2.2	7,5 - 8,0	2. 69 1	16.6 378	9.8 1	20.2 629	19.9 911
	BH. 3.1	5,5 - 6,0	2. 67 6	8.70 147	9.8 1	15.2 596	14.9 498
	BH. 3.2	9,5 - 10	2. 69 5	15.3 134	9.8 1	19.4 382	18.1 589
3	BH. 4.1	5,5 - 6,0	2. 63 5	9.18 216	9.8 1	15.5 078	15.7 121
	BH. 4.2	9,5 - 10	2. 65 6	15.6 175	9.8 1	19.5 436	18.6 144

Perhitungan Modulus Elastisitas (Ep) dan Momen Inersia (Ip)

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 bulir 12.3.2, modulus elastisitas komposit (Em) dirumuskan sebagai berikut:

$$E_m = E_s + c_3 E_c (A_c/A_s) \tag{11}$$

Keterangan :

Es = Modulus elastisitas baja, mpa

c3 = Koefisien, (untuk pipa baja diisi beton nilai c1 = 1, c2 = 0,85 , c3 = 0,4)

Ec = Modulus elastisitas beton, mpa

Ac = Luas penampang beton, m²

As = Luas penampang baja, m²

Nilai modulus elastisitas beton (Ec) didapatkan dari rumus:

$$E_c = 0,041 w^{1.5} \sqrt{f'c} = 18375,26 \text{ mpa} \tag{12}$$

Dimana :

w = berat jenis beton, kg/m³ = 2400 kg/ m³

f'c = kuat tekan beton isian, mpa (f'c = 14,53 mpa)

jadi, modulus elastisitas tiang adalah

$$E_p = E_s + c_3 E_c (A_c/A_s) = 276197,546 \text{ mpa}$$

Nilai momen inersia untuk tiang pancang didapatkan dari rumus,

$$I_p = \pi D^4 / 64 = 0,001 \text{ m}^4 \tag{13}$$

Dimana :

D = Diameter tiang (D1 = 0,4 m)

Perhitungan Tegangan Leleh Tiang

Berdasarkan SNI 03-1729-2002, 12.13.2 tegangan leleh komposit (fmy) dirumuskan sebagai berikut:

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \frac{A_r}{A_s} + c_2 f'c \frac{A_c}{A_s} \tag{14}$$

dimana:

fy = Tegangan leleh baja, mpa (fy = 210 mpa)

fyr =Tegangan leleh tulangan, mpa (fyr = 390 mpa)

c1, c2 = Koefisien, (untuk pipa baja diisi beton nilai c1 = 1, c2 = 0,85 , c3 = 0,4)

Ar = Luas penampang tulangan longitudinal, m (Ar = 2% Ac = 0,002 m²)

As = Luas penampang baja, m²

Ac = Luas penampang beton, m²

F'c = Kuat tekan beton, mpa (f'c = 14,53 mpa)

Nilai tegangan leleh tiang (f_{my}) adalah

$$f_{my} = f_y + c_1 f_{yr} \frac{A_r}{A_s} + c_2 f'_c \frac{A_c}{A_s}$$

$$= 418,89 \text{ mpa} = 42714,89 \text{ ton/m}^2$$

Perhitungan Gaya Lateral Izin (Q_{all})

Perhitungan gaya lateral diasumsikan tiang dalam kondisi *free head pile*. Jenis tanah diasumsikan *silt sand loose*. Berdasarkan teori Davisson, M. T. dan Gill, H. L. (1963) nilai defleksi (x) tiang dapat didapatkan dengan rumus berikut:

$$x_z(z) = A_x \frac{Q_g R^3}{E_p I_p} + B_x \frac{M_g R^2}{E_p I_p} \quad (15)$$

dimana :

Ax', Bx' = koefisien

Q_g = Gaya lateral, kN

E_p = Modulus elastisitas tiang, mpa

I_p = Momem inersia tiang, m⁴

M_g = Momen Tiang, KNm (M_g = e x Q_g)

e = panjang tiang di permukaan tanah, m

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k}} = 2,39$$

$$k = 0,65 \frac{12 E_s D^4}{E_p I_p} \frac{E_s}{1 - \mu_s^2} = 10484,89$$

E_s = modulus elastisitas tanah, kN/m²

μ_s = poison rasio

D = diameter tiang (D₁ = 0,4 m)

Untuk mendapatkan nilai Ax' dan Bx', diperlu dilakukan perhitungan nilai T, Z dan Z_{max} terlebih dahulu, berikut rumus yang digunakan berdasarkan teori Davisson, M. T. dan Gill, H. L. (1963):

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{n_h}} = 2,38$$

$$Z = \frac{z}{T} = 0$$

$$Z_{max} = \frac{L}{T} = 5,87$$

Dimana :

z = kedalaman yang ditinjau, m

L = Panjang tiang, m

n_h = 4500 kN/m³

Dari perhitungan nilai T, Z dan Z_{max} maka diperoleh nilai Ax' dan Bx' yang didapatkan dari grafik (teori Davisson and Gill, 1963) adalah Ax' = 1,3 dan Bx' = 1. Berdasarkan SNI 8460: 2017, 9.7.3.1. kapasitas lateral izin tiang adalah 25 mm. jadi, nilai x_z izin = 0,025 m, sehingga nilai Q_g adalah

$$Q_g = \frac{x_z}{Ax' \frac{R^3}{E_p I_p} + Bx' \frac{e R^2}{E_p I_p}} \quad (16)$$

$$= 246,450 \text{ kN} = 25,138 \text{ ton}$$

Untuk daya dukung izin tiang lateral (Q_{all}) didapatkan adalah

Faktor keamanan = 2

$$Q_{all} \text{ izin} = Q_g / 2 = 12,569 \text{ ton}$$

Perhitungan Gaya Lateral Sheet Pile Kondisi Kritis

a. Perhitungan sheet pile dengan angkur, permukaan air beda

$$\sigma_1 = \gamma \cdot L_1 \cdot K_a = 9,278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) K_a + \gamma_w L_2 = 37,924 \text{ kN/m}^2$$

$$L_3 = \sigma_2 / (\gamma' (K_p - K_a)) = 5,007 \text{ m}$$

$$P = \text{Luas Area ACDE} = 139,728 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{Z} = \Sigma ME/P = 4,129 \text{ m}$$

Nilai L₄ diperoleh dari *trial and error* dengan rumus sebagai berikut :

$$L_4^3 + 1,5 L_4^2 (L_2 + L_3) - \frac{3P((L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{Z} + L_1))}{\gamma'(K_p - K_a)} = 0$$

Diperoleh nilai L₄ = 3,311 m

$$D_{(theory)} = L_3 + L_4 = 8,318 \text{ m}$$

$$D_{(actual)} = (20\% - 30\%) D_{(theory)} = 10,813 \text{ m}$$

$$F = P - (1/2) \cdot \gamma' \cdot (K_p - K_a) \cdot L_4^2 = 98,217 \text{ KN/m}$$

$$= 9,8217 \text{ t/m}$$

b. Perhitungan sheet pile tanpa angkur, permukaan air beda

$$\sigma_1 = \gamma \cdot L_1 \cdot K_a = 9,278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) K_a + \gamma_w L_2 = 37,924 \text{ kN/m}^2$$

$$L_3 = \sigma_2 / (\gamma' (K_p - K_a)) = 5,007 \text{ m}$$

$$P = \text{Luas Area ACDE} = 139,728 \text{ KN/m}^2$$

$$\bar{Z} = \Sigma ME/P = 4,129 \text{ m}$$

$$\sigma_5 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) K_p + \gamma' \cdot L_3 \cdot (K_p - K_a) = 76,276 \text{ KN/m}^2$$

Mencari nilai L_4 , dengan menggunakan rumus :

$$L_4^4 + L_4^3 A_1 - L_4^2 A_2 - L_4 A_3 - A_4 = 0$$

Nilai A_1 , A_2 , A_3 dan A_4 adalah sebagai berikut;

$$A_1 = \sigma_5 / (\gamma' (K_p - K_a)) = 10,071$$

$$A_2 = 8P / (\gamma' (K_p - K_a)) = 147,590$$

$$A_3 = 6P(2\bar{Z}\gamma'(K_p - K_a) + \sigma_5) / (\gamma'^2 (K_p - K_a)^2) = 2028,928$$

$$A_4 = P(6\bar{Z}\sigma_5 + 4P) / (\gamma'^2 (K_p - K_a)^2) = 5964,592$$

Diperoleh nilai L_4 , *trial and error* :

$$L_4 = 13,7341 \text{ m}$$

$$D_{(\text{theory})} = L_3 + L_4 = 18,7413 \text{ m}$$

$$D_{(\text{actual})} = (20\% - 30\%) D_{(\text{theory})} = 24,3637 \text{ m}$$

c. Perhitungan sheet pile tanpa angkur sama muka air

$$\sigma_1 = \gamma \cdot L_1 \cdot K_a = 9,278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) K_a = 20,756 \text{ kN/m}^2$$

$$L_3 = \sigma_2 / (\gamma' (K_p - K_a)) = 2,741 \text{ m}$$

$$P = \text{Luas Area ACDE} = 58,201 \text{ KN/m}^2$$

$$\bar{Z} = \Sigma ME/P = 2,758 \text{ m}$$

$$\sigma_5 = (\gamma \cdot (L_1 + L_2)) K_p + \gamma' \cdot L_3 \cdot (K_p - K_a) = 87,395 \text{ KN/m}^2$$

Mencari nilai L_4 , dengan menggunakan rumus :

$$L_4^4 + L_4^3 A_1 - L_4^2 A_2 - L_4 A_3 - A_4 = 0$$

Nilai A_1 , A_2 , A_3 dan A_4 adalah sebagai berikut;

$$A_1 = \sigma_5 / (\gamma' (K_p - K_a)) = 11,539$$

$$A_2 = 8P / (\gamma' (K_p - K_a)) = 61,476$$

$$A_3 = 6P(2\bar{Z}\gamma'(K_p - K_a) + \sigma_5) / (\gamma'^2 (K_p - K_a)^2) = 786,407$$

$$A_4 = P(6\bar{Z}\sigma_5 + 4P) / (\gamma'^2 (K_p - K_a)^2) = 1703,810$$

Diperoleh nilai L_4 , *trial and error* :

$$L_4 = 8,6618 \text{ m}$$

$$D_{(\text{theory})} = L_3 + L_4 = 11,4023 \text{ m}$$

$$D_{(\text{actual})} = (20\% - 30\%) D_{(\text{theory})} = 14,823 \text{ m}$$

Perhitungan Sheet Pile Dengan Angkur (Eksisting)

a. Asumsi perhitungan tidak menggunakan D eksisting

$$\sigma_1 = \gamma \cdot L_1 \cdot K_a = 9,278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) \cdot K_a = 20,757 \text{ kN/m}^2$$

Langkah kedua, menghitung nilai L_3 ,

$$L_3 = \sigma_2 / \gamma' (K_p - K_a) = 2,741 \text{ m}$$

Langkah ketiga, menghitung tekanan total area ABCD dan panjang lengannya (\bar{Z}),

$$P = \text{Luas Area diagram tekanan ABCD} \\ = 58,202 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{Z} = \Sigma ME/P = 2,978 \text{ m}$$

Langkah keempat, menghitung nilai L_4 , diperoleh dari *trial and error* dengan rumus berikut :

$$L_4^3 + 1,5 L_4^2 (L_2 + L_3) - \frac{3 \cdot P \cdot ((L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{Z} + L_1))}{\gamma' (k_p - k_a)} = 0$$

Diperoleh nilai, $L_4 = 1,926 \text{ m}$

Maka, $D_{(\text{theory})}$ dan $D_{(\text{actual})}$ sebagai berikut,

$$D_{(\text{theory})} = L_3 + L_4 = 4,666 \text{ m}$$

$$D_{(\text{actual})} = (20\% - 30\%) D_{(\text{theory})} = 6,066 \text{ m}$$

Nilai gaya lateral, F diperoleh dari persamaan berikut,

$$F = P - (1/2) \cdot \gamma' \cdot (K_p - K_a) \cdot L_4^2 = 44,158 \text{ kN/m} \\ = 4,416 \text{ t/m}$$

b. Asumsi perhitungan menggunakan D eksisting

$$\sigma_1 = \gamma \cdot L_1 \cdot K_a = 9,278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_2 = (\gamma \cdot L_1 + \gamma' \cdot L_2) \cdot K_a = 20,757 \text{ kN/m}^2$$

Langkah kedua, menghitung nilai L_3 ,

$$L_3 = \sigma_2 / \gamma' (K_p - K_a) = 2,741 \text{ m}$$

Diketahui :

$$D_{(\text{eksisting})} = 7,5 \text{ m (30\% } D_{(\text{theory})})$$

$$D_{(\text{theory})} = 7,5 \text{ m} / 1,3 = 5,7692 \text{ m}$$

$$D_{(\text{theory})} = L_3 + L_4$$

Sehingga,

$$L_4 = D_{(\text{theory})} - L_3 = 5,7692 \text{ m} - 2,4955 \text{ m} = 3,2737 \text{ m}$$

Langkah ketiga, menghitung tekanan total area ABCD

$$P = \text{Luas Area diagram tekanan ABCD} \\ = 58,202 \text{ kN/m}^2$$

Maka nilai gaya lateral, F di peroleh dengan persamaan berikut,

$$F = P - (1/2) \cdot \gamma' \cdot (K_p - K_a) \cdot L_4^2 = 17,6159 \text{ kN/m} \\ = 1,76159 \text{ t/m}$$

Perhitungan Jarak Antar Tiang

Jarak satu tiang (s_1) yang digunakan adalah $s_1 = 1$ m. Nilai gaya lateral, F yang digunakan pada perhitungan yaitu $F = 4,416$ ton/m. Diketahui, Q_{all} izin = 12,569 ton

Kontrol :

$$Q_g = 4,416 \text{ ton/m} \times 2 \text{ m} = 8,832 \text{ ton}$$

Jadi, $Q_g < Q_{\text{all}}$ izin (aman)

Jarak antar tiang untuk dua tiang (s_2) diambil nilai jarak 2 kali s_1 yaitu : $s_2 = 2 \times s_1 = 2 \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}$, Jumlah tiang, $n = 2$ tiang

Nilai F yang digunakan pada perhitungan yaitu, $F = 4,416$ ton/m. Diketahui, Q_{all} izin = 12,569 ton

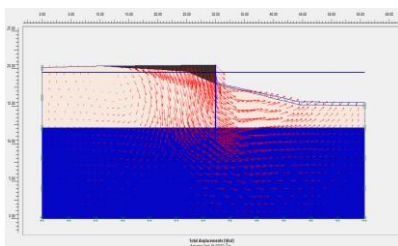
Kontrol :

$$Q_g = F/n * s_2 = (4,416/2) \times 4 = 8,832 \text{ ton}$$

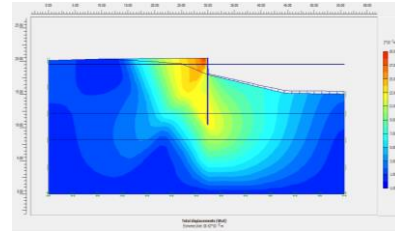
Jadi, $Q_g < Q_{\text{all}}$ izin (aman)

Hasil Analisa Aplikasi Plaxis Professional 8.2

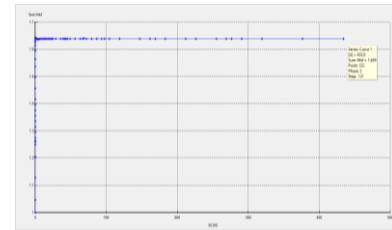
a. Hasil analisa sheet pile belum diperkuat



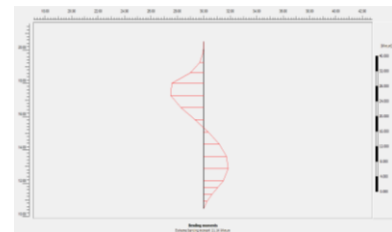
Gambar 7. Arah perpindahan struktur *sheet pile* ($d=18,42$ mm)



Gambar 8. Kontur perpindahan struktur *sheet pile* ($d=18,42$ mm)

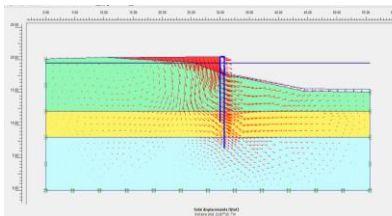


Gambar 9. Grafik angka keamanan (SF = 1,639)

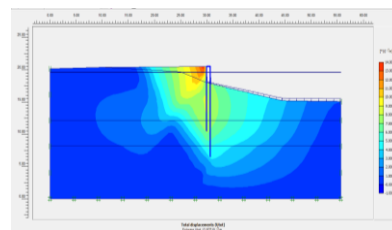


Gambar 10. Momen pada *sheet pile* ($M=-11,14$ kN.m = -1,2522 ton.m)

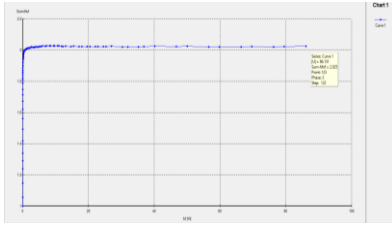
b. Hasil analisa sheet pile diperkuat tiang vertikal



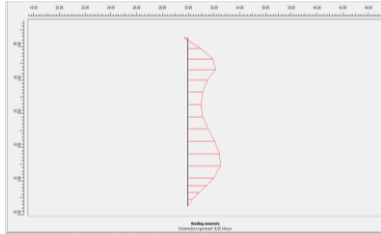
Gambar 11. Arah perpindahan struktur *sheet pile* ($d=13,87$ mm)



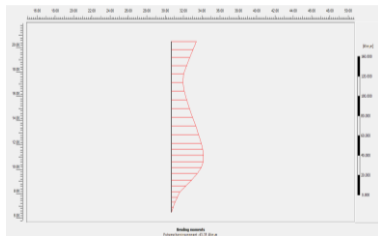
Gambar 12. Kontur perpindahan struktur *sheet pile* ($d=13,87$ mm)



Gambar 13. Grafik angka keamanan (SF= 2,025)

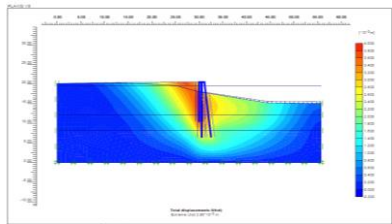


Gambar 14. Momen pada *sheet pile* (M=-8,05 kn.m = -0,905 ton.m)

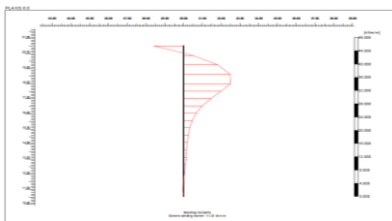


Gambar 15. Momen pada tiang (M=-43,35 kn.m = -4,873 ton.m)

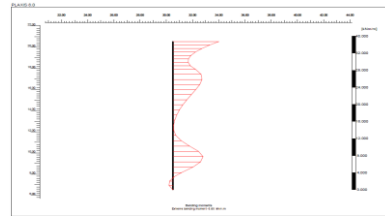
c. Hasil analisa *sheet pile* diperkuat tiang vertikal dan miring



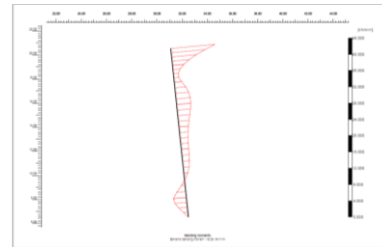
Gambar 16. Kontur perpindahan *sheet pile* (d=3,86 mm)



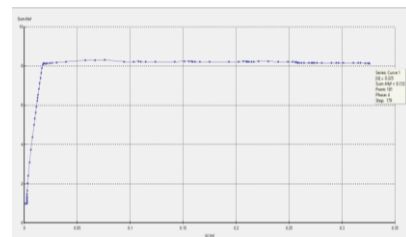
Gambar 17. Momen pada *sheet pile* (M=-11,38 kn.m = -1,1608 ton.m)



Gambar 18. Momen pada tiang komposit (M=-8,69 kn.m = -0,8864 ton.m)



Gambar 19. Momen pada tiang komposit miring 1:10 (M = -10,39 kn.m = -1,0598 ton.m)



Gambar 20. Grafik angka keamanan (SF=8,133)

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu,

1. Gaya lateral izin tiang (Q_{all}) sebesar 12,569 ton.
2. *Sheet pile* yang diasumsikan tetap terpasang angkur, permukaan air tanah mengalir sangat lambat dan air pada sungai surut sangat cepat hingga (kritis), diperoleh nilai $D_{(actual)}$ adalah 10,813 m > 7,5 m ($D_{eksisting}$) sama dengan kedalaman kurang atau *sheet pile* tidak stabil.
3. *Sheet pile* diasumsikan tidak dipasang angkur (putus), permukaan air tanah mengalir sangat lambat dan air pada sungai surut sangat cepat (kritis), diperoleh nilai $D_{(actual)}$ adalah 24,3637 m > 7,5 m ($D_{eksisting}$) sama dengan kedalaman kurang atau *sheet pile* tidak stabil.
4. *Sheet pile* tidak dipasang angkur (putus), permukaan air tanah dan air pada sungai berada pada ketinggian yang sama, didapatkan nilai $D_{(actual)}$ adalah 14,823 m > 7,5 m ($D_{eksisting}$) sama dengan kedalaman kurang atau *sheet pile* tidak stabil.
5. *Sheet pile* yang diangkur dihitung pada kondisi *eksisting* didapatkan nilai $D_{(actual)} = 6,066$ m < 7,5

- m ($D_{eksisting}$) dan nilai gaya angkur diperoleh $F = 4,416 \text{ ton/m}$.
6. Nilai gaya angkur dihitung berdasarkan kondisi air pasang dan nilai kedalaman *eksisting* ($D_{eksisting}$) didapatkan nilai gaya angkur $F = 1,76159 \text{ ton/m}$.
 7. Nilai gaya angkur yang digunakan pada perencanaan adalah nilai gaya angkur *eksisting* yang besar yaitu $F = 4,416 \text{ ton/m}$.
 8. Jarak antar tiang (s_1) tiang vertikal adalah 2 m.
 9. Jarak antar tiang (s_2) tiang vertikal dan tiang miring adalah 4 m.
 10. Hasil analisa pada *sheet pile* sebelum diperkuat, nilai faktor keamanan (SF) yang terjadi pada *sheet pile* adalah $1,639 < 2$ (faktor keamanan minimum), *sheet pile* dinyatakan tidak aman.
 11. Hasil analisa pada *sheet pile* yang diperkuat dengan satu tiang, Nilai faktor keamanan (SF) yang terjadi pada *sheet pile* adalah $2,025 > 2$ (faktor keamanan minimum), *sheet pile* dinyatakan aman.
 12. Hasil analisa pada *sheet pile* yang diperkuat dengan dua tiang faktor keamanan (SF) adalah $8,133 > 2$ (faktor keamanan minimum), *sheet pile* dinyatakan aman.
 13. Nilai momen *sheet pile* maksimum yang terjadi pada *sheet pile* yang belum diperkuat adalah $1,2522 \text{ ton.m} < 19,4 \text{ ton.m}$ (momen *crack* untuk tiang *sheet pile*) dinyatakan aman.
 14. Nilai momen *sheet pile* maksimum yang terjadi pada *sheet pile* yang diperkuat dengan satu tiang vertikal adalah $0,905 \text{ ton.m} < 19,4 \text{ ton.m}$ (momen *crack* untuk tiang *sheet pile*) dinyatakan aman.
 15. Nilai momen *sheet pile* maksimum yang terjadi pada *sheet pile* yang diperkuat dengan dua tiang yaitu tiang vertikal dan tiang miring adalah $1,1608 \text{ ton.m} < 19,4 \text{ ton.m}$ (momen *crack* untuk tiang *sheet pile*) dinyatakan aman.
 16. Nilai momen yang terbesar untuk tiang pancang komposit sebesar $1,0598 \text{ ton.m}$, sehingga tegangan yang terjadi adalah ($\sigma = \text{Momen}/W$) ($W=I/0.5D$) $1052,737 \text{ ton/m}^2 < 42714,89 \text{ ton/m}^2$ (tegangan leleh tiang (f_{my})), dinyatakan aman.

Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kumpulkan data-data yang diperlukan terlebih dahulu selengkap mungkin agar dapat memahami kondisi lapangan dan kondisi tanah yang sebenarnya, sehingga memudahkan dalam memutuskan kondisi *eksisting* dan perhitungan manual.
2. Pada penggunaan aplikasi *Plaxis Professional 8.2*, Siapkan dan lengkapi data yang digunakan dalam bentuk tabel terlebih dahulu agar pada saat menginput data tidak terjadi kesalahan menginput data.

REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional. 2017. Standar Nasional Indonesia (SNI) 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta.
- Bowles, Joseph E. *Analisis dan Desain Pondasi jilid 2 Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Das, Braja M. 2014. *Principles of Foundation Engineering Eighth Edition*. United States: Global Engineering.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2011. *Analisa Perancangan Fondasi 1 Edisi Kedua*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hertiany, Isti Radhista dan Adwiyah Asyifa. 2014. Perencanaan Konstruksi *Sheet Pile Wall* Sebagai Alternatif Penganti *Gravity Wall*. *INERSIA*, 10(1). <https://journal.uny.ac.id/index.php/inersia/article/download/4429/3849>.
- Ilham A.M.W. 2018. *Perencanaan Turap (Sheet Pile) Jalan Tol Jorr II Seksi Kunciran–Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program Plaxis*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat direktorat Jendral Bina Marga. 2019. Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi. Jakarta.
- Maryono. 2014. Analisis Deformasi Tanah dan Sheet Pile Akibat Pemancangan Tiang Pada Tanah Lunak. *E-Journal Graduate UNPAR*, 1(1). <https://media.neliti.com/media/publications/183595-ID-none.pdf>.
- Agatha, M. Naufal . 2017. *Perencanaan Sheet Pile Dengan Menggunakan Program Plaxis (Study Kasus : Jalan Padang Tambak – Liwa KM.227+400)*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Lampung: Bandar Lampung.