

RESPON TIANG DALAM KELOMPOK TERHADAP GAYA LATERAL METODE *STRAIN WEDGE*

Sumiyati Gunawan^{1,*}), Niken Silmi Surjandari², Bambang Setiawan³

^{1,*}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Email: sumiyatig@student.uns.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Email: nikensilmisurjandari@staff.uns.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Email: bambangsetiawan@staff.uns.ac.id

ABSTRACT

The lateral bearing capacity of the foundation cannot be neglected in the design of the foundation on bridges, tall buildings, tower structures, and other essential structures if the lateral load is dominant. In general, a laterally loaded pile foundation is considered a single pile, but in practice, group piles are always used in the field. The lateral bearing capacity in a pile group is not identical to the accumulated number of single piles bearing capacity. Due to the reduction factor, which is influenced by the installed force, pile number, eccentricity, pile diameter, pile length, the distance between piles, pile stiffness, type, and soil stiffness. This study analyzes the bearing capacity of the pile group using the strain wedge method. Pile configurations consist of 1x3 and 3x1 with steel pipe, diameter $D = 0,4m$ and width $B = 0,429m$. The variation of pile length $L = 8,0-20 m$ with 2m intervals, while the ratio of pile distance to diameter $S/D = 3$, is located on soft silt sand soils with an inner friction angle of 10° , and volume weight of $1200 kg/m^3$. The results presented in the configuration (1x3) show that the lateral resistance of the square pile is greater than the circle pile about 2,1 times at all pile positions in the group, with $S/D = 3$. If $L \leq 10m$, then the interaction between piles and soil is not significant, resulting in the same lateral bearing capacity at each pile position with a single pile, the multiplier factor for square pile and circle pile is almost the same. Whereas in the configuration (3x1): the lateral resistance of the square pile is higher than the circle pile about 1,4 times at all pile positions in the group. The piles with an $L \leq 10m$, the multiplier for the square pile, is higher than the circle pile by 1,07 times at all pile positions in the group. For $L \leq 10m$, the multiplier for the circle pile is greater than the square pile by about 1,04 times in all pole positions in the group.

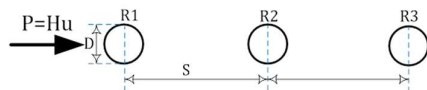
Keywords: lateral force, pile group, pile response, wedge strain method.

PENDAHULUAN

Fondasi tiang yang dibebani lateral, umumnya diperhitungkan berdasarkan *single pile* meskipun di lapangan selalu digunakan *group piles*. Pada umumnya kelompok tiang diikat dengan *poer*, sehingga dapat diperhitungkan dalam keadaan kepala tiang terjepit. Metode yang digunakan untuk menganalisa fondasi tiang akibat beban lateral di antaranya metode Broms (1964), Reese (1956), Hansen (1961). Daya dukung lateral

group piles tidak sama dengan penjumlahan daya dukung tiang *single pile* dalam kelompok tersebut, karena faktor reduksi yang dipengaruhi oleh gaya dan arah gaya, jumlah tiang dalam kelompok, posisi tiang, diameter tiang, panjang tiang, jarak antar tiang, kekakuan tiang, jenis dan kekakuan tanah, maka penelitian ini menganalisis daya dukung kelompok tiang dengan menggunakan metode *Strain Wedge* (Ashour *et al.*, 1998) untuk menghitung daya dukung pada

masing-masing tiang dalam kelompok tiang sesuai dengan bentuk, panjang dan posisi tiang yaitu, tiang depan R_1 (*trailing pile*), posisi tiang tengah R_2 (*middle pile*), posisi belakang R_3 (*leading pile*) sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi tiang dalam kelompok

Berbagai penelitian tersebut di bawah ini dimanfaatkan untuk menentukan mekanisme perilaku kelompok tiang akibat beban lateral dengan pembebanan lateral tiang skala penuh maupun skala laboratorium, memperlihatkan bahwa respon tiang pada beban lateral adalah masalah interaksi tanah-tiang yang kompleks.

Daya dukung lateral kelompok tidak sama dengan penjumlahan daya dukung tiang tunggal dalam kelompok tersebut, pada umumnya menggunakan faktor pengali/reduksi yang diperoleh dengan hasil dukungan kelompok tiang percobaan skala penuh dibagi daya dukung tiang tunggal oleh penelitian terdahulu sebagaimana dalam NAVFAC DM-71 (1986) dan Reese *et al.* (2010).

Perbedaan jarak tiang pada kelompok tiang mempengaruhi daya dukung suatu kelompok tiang. Hasil pengujian pembebanan kelompok tiang jarak 3D memiliki daya dukung yang lebih baik dibandingkan kelompok tiang dengan jarak 2,5D dan 3,5D, karena pengaruh diagram tekanan tanah akibat gaya pada tiang (Akon *et al.*, 2018).

Model *Strain Wedge (SW)* memiliki kemampuan menilai respons kelompok tiang yang dibebani secara lateral, dengan menggambarkan daerah pengaruh tiap tiang dalam kelompok berdasarkan interaksi 3D, sehingga masing-masing tiang dalam kelompok dapat dianalisis. Hasil percobaan lapangan dengan skala penuh menunjukkan hasil yang sangat mendekati (Ashour *et al.*, 2001).

Daya dukung lateral *group piles* tidak sama dengan penjumlahan daya dukung tiang *single pile* dalam kelompok tersebut, karena faktor reduksi, P_m tergantung pada sifat tanah, tiang, posisi tiang, dimensi tiang, jarak tiang seperti terlihat pada penelitian eksperimental dan analitis, pemodelan tiga dimensi *SW* interaksi tiang-tanah dalam kelompok tiang (Ashour *et al.*, 2011). Tiang tepi menanggung beban lebih besar dari tiang yang lainnya. Tiang tengah mendapat beban yang paling kecil, distribusi beban akan semakin merata, lendutan semakin kecil dengan bertambahnya jarak tiang dalam kelompok. Jarak yang ideal adalah apabila lendutan yang terjadi tidak melebihi persyaratan (Ahmad, 2012).

Faktor pengali, P_m meningkat dengan meningkatnya rasio S/D , P_m untuk *fix head* lebih kecil daripada P_m untuk *free head* (Fayyazi *et al.*, 2014). P_m , faktor pengali yang paling sederhana dan konservatif diberikan oleh (NAFAC DM-71 (1986) dimana faktor reduksi ini hanya merupakan fungsi dari rasio *pile spacing/pile diameter* (S/D). Faktor reduksi ini berubah secara linear antara 0,25 untuk $S/D = 3$ sampai nilai tertinggi yaitu 1 untuk $S/D = 8$.

Faktor pengali/reduksi yang lebih akurat diberikan oleh Reese *et al.* (2010), berdasarkan *full scale test* pada sejumlah tiang. Faktor reduksi ini dipengaruhi oleh rasio S/D , arah gaya lateral, posisi tiang dalam kelompok, pola susunan tiang.

Perilaku Tiang Terhadap Gaya Horizontal

Tipe tiang menurut model ikatannya dengan pelat penutup tiang McNulty (1956) adalah sebagai berikut.

1. Tiang ujung jepit (*fixed end pile*), terjepit dalam pelat penutup kepala tiang *minimum* 60 cm (24 *inchi*).
2. Tiang ujung bebas (*free end pile*), tidak terjepit atau terjepit dalam pelat penutup, kurang dari 60 cm.

Model ikatan mempengaruhi perilaku tiang terhadap beban lateral. Untuk menentukan besar tahanan ultimit tiang yang mendukung

beban lateral, perlu diketahui faktor kekakuan tiang R atau T , yang dipengaruhi oleh kekakuan tiang (EI) dan kompresibilitas tanah K (modulus tanah), akan menentukan perilaku tiang pendek (*rigid pile*) atau panjang (*elastic pile*).

Kekakuan tiang pada lempung kaku terkonsolidasi berlebih, modulus tanah dianggap konstan pada seluruh kedalaman sebagaimana dinyatakan pada persamaan (1).

$$R = \sqrt[4]{\frac{EpIp}{K_h \cdot d}} \tag{1}$$

Kekakuan tiang pada lempung terkonsolidasi normal dan tanah granuler, modulus tanah dianggap tidak konstan terhadap kedalaman sebagaimana dinyatakan seperti pada persamaan (2).

$$T = \sqrt[5]{\frac{EpIp}{n_h}} \tag{2}$$

Dengan,

- 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).

K_h merupakan $ks/1.5$; modulus *subgrade* tanah seperti terlihat pada Tabel 1. Nilai n_h lempung dikorelasikan dengan harga kuat tekan bebas, qu dan pasir dikorelasikan dengan kepadatan relatif (Dr).

Tabel 1. Modulus *subgrade* k_1 untuk lempung kaku terkonsolidasi berlebih (Terzaghi, 1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
Kohesi undrained, C_u (kN/m^2)	100 - 200	200 - 400	> 400
k_1 (MN/m^3)	18 - 36	36 - 72	> 72
k_1 rekomendasi (MN/m^3)	27	54	> 108

Hubungan tersebut tersebut di atas dapat dilihat pada Tabel 2, dan kriteria tiang pendek/panjang tergantung nilai R atau T ,

kemudian dikategorikan seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai n_h diperoleh langsung dari uji beban tiang dalam pasir yang terendam air (Resse *et al.*, 1956)

	Tak padat	Sedang	Padat
Kepadatan relatif, Dr (%)	16 - 36	36 - 80	> 80
Pasir kering s/d lembab (kN/m^3) Terzaghi, 1955	2425	7275	19400
Pasir terendam air (kN/m^3) Terzaghi, 1955	1386	4850	11779
Pasir terendam air (kN/m^3)	5300	16300	34000

Tabel 3. Kriteria tiang kaku dan tidak kaku untuk tiang ujung bebas (Tomlinson, 1977)

Jenis tiang	Modulus tanah	
	<i>Linearly increasing</i>	<i>Constant</i>
Pendek (kaku)	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$
Panjang (elastis)	$L \geq 4T$	$L \geq 3,5R$

Faktor kelenturan, β dinyatakan seperti pada persamaan (3).

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \cdot d}{4EI}} \tag{3}$$

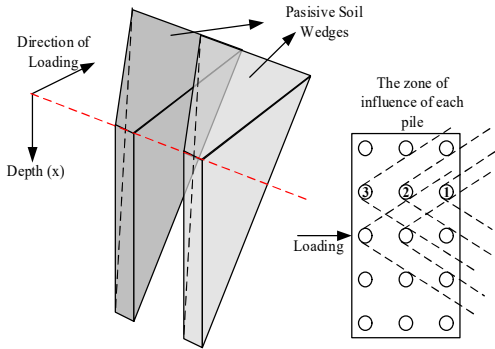
Dengan,

- E : modulus elastis tiang,
- I : momen inersia tiang,
- K : $ks/1,5$;
- d : dimensi tiang.

Zona Pengaruh Gaya Lateral pada Fondasi Kelompok Tiang dengan *Strain Wedge Method*

Model *SW* (*strain wedge*) awalnya digunakan untuk menganalisis tiang kepala bebas pada tanah homogen. Kemudian model *SW* dikembangkan dan dimodifikasi untuk menganalisis tanah non-homogen baik pada pasir maupun lempung. Parameter model *SW* adalah *wedge*/baji tanah pasif di depan defleksi kepala tiang. Tujuan dasar model *SW* adalah untuk menghubungkan perilaku

tegangan-regangan tanah secara teori dengan interaksi tanah di belakang kepala tiang yang terdefleksi akibat gaya lateral secara 3 dimensi. Interaksi tanah-tiang dalam kelompok tiang digambarkan secara 3D sebagaimana dalam Gambar 2. *Overlapping* tegangan antar tiang dalam kelompoknya digambarkan sebagaimana dalam Gambar 3.



Gambar 2. Zona pengaruh gaya lateral antar tiang dalam kelompok (Ashour *et al.*, 1998)

Salah satu asumsi model *SW* adalah pola defleksi tiang dianggap linier di puncak tiang sehingga sudut defleksi, δ juga linier. Seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan irisan 3 dimensinya terlihat pada Gambar 5, maka konfigurasi irisan pada saat mendapat beban lateral adalah seperti ditunjukkan pada persamaan (4) s.d. (6).

$$\Theta_m = 45 - \frac{\varphi_m}{2} \tag{4}$$

$$\beta m = \Theta_m + \varphi_m = 45 + \frac{\varphi_m}{2} \tag{5}$$

$$\overline{BC} = D + (h - x) * 2 \tan \beta m \tan \varphi_m \tag{6}$$

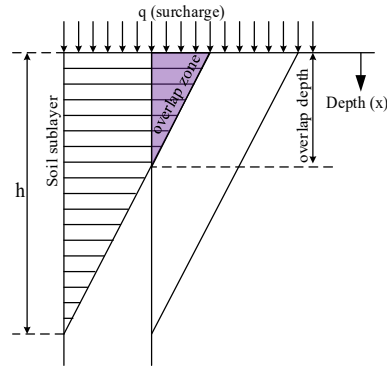
Dengan,

BC : lebar permukaan irisan kedalaman a,

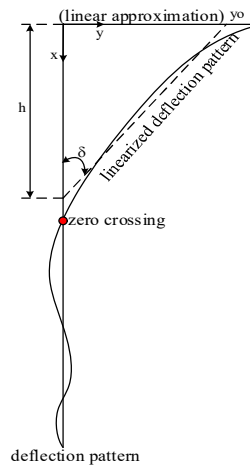
D : lebar penampang tiang,

H : kedalaman pasif, tergantung defleksi tiang,

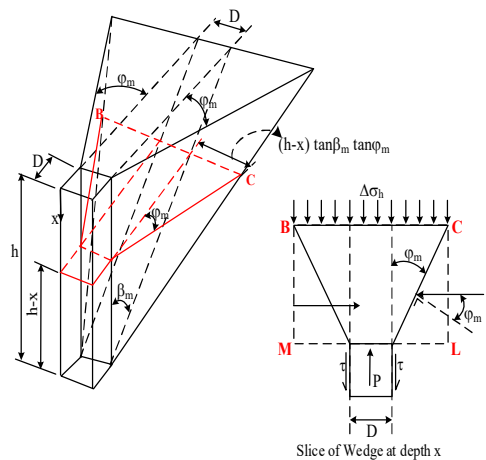
φ_m : sudut pengaruh.



Gambar 3. *Overlapping* pada tahanan pasif tanah (Ashour *et al.*, 1998)



Gambar 4. Pola defleksi pada pembebanan lateral model *SW* (Ashour *et al.*, 1998)



Gambar 5. Dasar metode *SW* pada tanah homogen (Ashour *et al.*, 1998)

Model *SW* bergantung pada modulus reaksi tanah, E_s yang mewakili kemiringan garis potong pada titik mana pun pada kurva beban dan defleksi (kurva $P-y$), dinyatakan pada persamaan (7).

$$E_s = \frac{P}{y} \tag{7}$$

Dengan,

P : gaya per satuan panjang tiang,

y : defleksi tiang,

E_s : modulus young.

Sesuai dengan irisan horizontal (Gambar 2), keseimbangan tegangan horisontal dan geser dapat dinyatakan dalam persamaan (8).

$$P_i = (\Delta\sigma_h)_i \overline{BC}_i \cdot S_1 + 2\tau_i \cdot D \cdot S_2 \tag{8}$$

Dengan,

S_1 : 0,75 untuk penampang tiang bundar, dan 1,00 untuk tiang persegi,

S_2 : 0,50 untuk penampang tiang bundar, dan 1,00 untuk tiang persegi.

Persamaan (8) dapat dituliskan dalam bentuk berbeda seperti pada persamaan (9).

$$A_i = \frac{P_i/D}{(\Delta\sigma_h)_i} = \frac{\overline{BC}_i \cdot S_1}{D} + \frac{2\tau_i \cdot S_2}{(\Delta\sigma_h)_i} \tag{9}$$

Dengan, A adalah rasio antara tegangan muka dan perubahan tegangan horizontal.

Berdasarkan persamaan (8) dan (9), maka pada tanah pasir dan lempung akan sesuai dengan persamaan (10) dan persamaan (11).

insand (10)

$$A_i = S_1 \left(1 + \frac{(h-x_i)2(\tan\beta_m \tan\phi_m)_i}{D} \right) + \frac{2S_2(\overline{\sigma_{vo}})_i(\tan\phi_s)_i}{(\Delta\sigma_h)_i}$$

inclay (11)

$$A_i = S_1 \left(1 + \frac{(h-x_i)2(\tan\beta_m \tan\phi_m)_i}{D} \right) + \frac{2S_2(SL_r)_i}{SL_i}$$

Konsep pola defleksi model *SW* adalah kontinu dan linier, maka defleksi tiang dihitung dengan metode yang disederhanakan, menggunakan teknik multi-sublapisan,

defleksi tiang dapat dihitung mulai dari dasar irisan pasif yang terdefleksi dan bergerak ke atas sepanjang tiang, dengan menggunakan persamaan (12) dan (13).

$$y_i = H_i \delta_i = H_i \frac{\epsilon}{\psi_s} \tag{12}$$

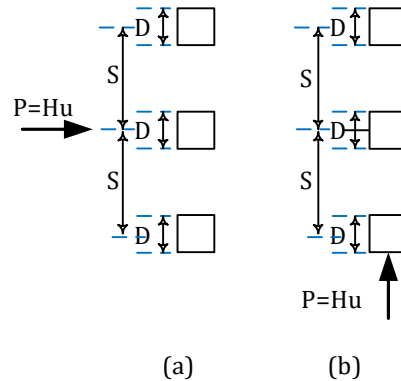
$$y_0 = \sum y_i \quad i = 1 \text{ to } n \tag{13}$$

Dengan, ψ_s berubah sesuai dengan jenis tanah (pasir atau tanah liat), dan H_i menunjukkan ketebalan sub-lapisan i dan n melambangkan jumlah sub-lapisan.

METODE ANALISIS

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan.

1. Data tanah antara lain, tanah *soft silty sand*, $\phi = 10^\circ$ dan $\gamma_b = 1200\text{kg/m}^3$.
2. Data tiang, baja bulat $\varnothing = 40$ cm dan tiang baja persegi $B = 42.9$ cm susunan tiang (1x3) seperti pada Gambar 6.a dan (3x1) seperti Gambar 6.b, panjang, $L = 8.0$ m s.d. $L = 20.0$ m dengan interval 2 m serta rasio jarak tiang terhadap diameter $S/D = 3$.



Gambar 6. Susunan tiang

3. Dihitung faktor kekakuan relatif, T sesuai dengan persamaan (2).
4. Berdasarkan data tanah dan data tiang pada langkah 1, defleksi maksimum 0.01 m ditentukan, sehingga didapatkan gaya

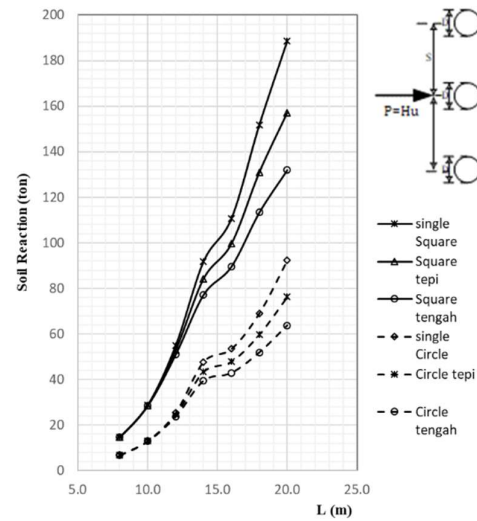
- lateral yang mampu didukung oleh tiang dan didapatkan panjang tiang minimum yang dibutuhkan.
5. Dihitung defleksi, gaya geser, momen, reaksi tanah di sepanjang tiang.
 6. Berdasarkan langkah 3, ditentukan titik putar pada tiang akibat beban lateral pada defleksi mendekati nol.
 7. Dibandingkan langkah 1 hingga 5, kemudian ditentukan luas pengaruh defleksi dan hitung volume tanah yang terkena defleksi menggunakan metode *SW*.
 8. Ditentukan tegangan tanah akibat defleksi tiang tunggal dan tiang kelompok.
 9. Ditentukan reaksi tanah, *P* (tiang tunggal atau tiang kelompok).
 10. Kemudian dapat ditentukan faktor pengali, *Pm* dengan membandingkan gaya reaksi tiang tunggal dan tiang kelompok pada langkah 7.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dengan metode *SW* dengan bentuk *circle* dan *square steel pipe* dengan diameter $\varnothing = 0.4$ m, panjang $L = 8.0$ m s.d. $L = 20.0$ m dengan interval 2 m serta rasio jarak tiang dan diameter $S/D = 3$. Pada *soft silty sand*, $\phi = 10^\circ$ dan $\gamma_b = 1200$ kg/m³, dengan susunan tiang (1x3), maka hasil analisis reaksi tanah tiang tunggal paling besar, dan reaksi tiang tepi lebih besar dari tiang tengah, seperti pada Tabel 4 dan Gambar 7.

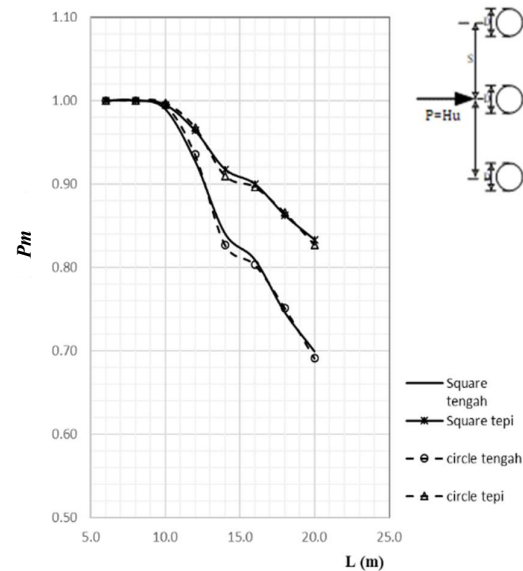
Tabel 4. Reaksi Tanah Kelompok tiang (1x3)

L (m)	Single square (ton)	Square tepi (ton)	Square tengah (ton)	Single circle (ton)	Circle tepi (ton)	Circle tengah (ton)
8	14,67	14,67	14,67	6,82	6,82	6,82
10	28,77	28,63	28,48	13,02	12,98	12,95
12	54,89	52,92	50,93	25,39	24,57	23,74
14	91,83	84,27	77,21	47,73	43,42	39,47
16	110,74	99,68	89,63	53,48	47,93	42,95
18	151,84	131,04	113,38	69,10	59,82	51,94
20	188,63	157,18	131,95	92,26	76,33	63,75



Gambar 7. Reaksi tanah kelompok tiang (1x3)

Dengan susunan tiang (1x3), maka hasil faktor reduksi, *Pm* tiang tengah lebih kecil dibandingkan dengan tiang tepi setelah panjang, *L* mencapai 12 m, tetapi untuk panjang kurang dari 12 m tidak menunjukkan perbedaan seperti pada Tabel 5 dan Gambar 8.



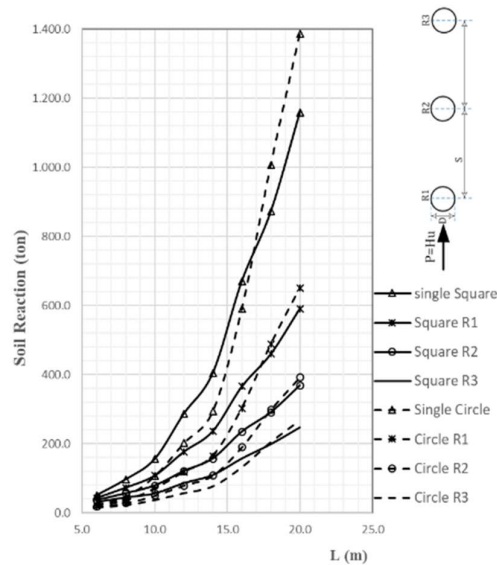
Gambar 8. Faktor pengali, *Pm* kelompok tiang (1x3)

Tabel 5. Faktor Reduksi, P_m kelompok tiang (1x3)

L (m)	Square tengah	Square tepi	Circle tengah	Circle tepi
6	1,00	1,00	1,00	1,00
8	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,99	0,99	1,00
12	0,93	0,96	0,94	0,97
14	0,84	0,92	0,83	0,91
16	0,81	0,90	0,80	0,90
18	0,75	0,86	0,75	0,87
20	0,70	0,83	0,69	0,83

Pada susunan tiang (3x1) hasil analisis reaksi tanah menunjukkan reaksi paling besar terjadi pada tiang paling depan kemudian diikuti oleh tiang selanjutnya, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 9.

Hasil analisis, P_m susunan tiang (3x1) menunjukkan faktor reduksi paling besar adalah tiang paling depan kemudian diikuti oleh tiang selanjutnya.



Gambar 9. Reaksi tanah kelompok tiang (3x1)

Tabel 6. Reaksi tanah kelompok tiang (3x1)

L (m)	Single square (ton)	Square R1 (ton)	Square R2 (ton)	Square R3 (ton)	Single Circle (ton)	Circle R1 (ton)	Circle R2 (ton)	Circle R3 (ton)
6	50,82	43,00	36,53	31,29	24,01	20,81	18,05	15,72
8	96,66	72,75	56,35	44,92	46,66	35,75	28,06	22,59
10	155,54	107,62	78,77	56,43	105,91	69,80	49,58	37,27
12	285,96	176,26	120,45	86,20	201,30	118,47	79,09	57,25
14	404,25	236,24	156,93	110,00	293,55	165,07	107,65	76,87
16	669,69	365,17	234,43	157,70	590,15	303,10	189,46	132,10
18	871,83	459,68	290,52	199,46	1006,96	488,34	297,83	204,93
20	1158,27	591,08	368,16	247,92	1385,96	650,59	391,64	267,64

Hasil tersebut berlaku untuk semua panjang tiang seperti pada Tabel 7. Serta hasil rangkuman untuk kedua tipe tiang secara lengkap diuraikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Faktor reduksi, P_m kelompok tiang (3x1)

L (m)	Square R1	Square R2	Square R3	Circle R1	Circle R2	Circle R3
6	0,85	0,72	0,62	0,87	0,75	0,65
8	0,75	0,58	0,46	0,77	0,60	0,48
10	0,69	0,51	0,36	0,66	0,47	0,35
12	0,62	0,42	0,30	0,59	0,39	0,28
14	0,58	0,39	0,27	0,56	0,37	0,26
16	0,55	0,35	0,24	0,51	0,32	0,22
18	0,53	0,33	0,23	0,48	0,30	0,20
20	0,51	0,32	0,21	0,47	0,28	0,19

KESIMPULAN

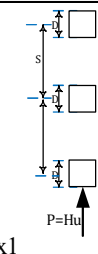
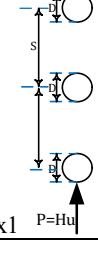
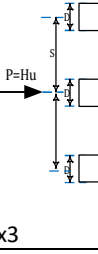
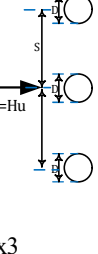
1. Pada konfigurasi (1x3):

Tahanan lateral *square pile* lebih besar dari *circle pile* sekitar 2.10 kali di semua posisi tiang dalam kelompok tiang. Dengan $S/D = 3$ dan $L \leq 10$ m, interaksi antar tiang dan tanah tidak signifikan sehingga daya dukung lateral pada tiap posisi tiang sama dengan *single pile*. Faktor pengali untuk *square pile* dan *circle pile* hampir sama.

2. Pada konfigurasi (3x1):
 Tahanan lateral *square pile* lebih besar dari *circle pile* sekitar 1.40 kali di semua posisi tiang dalam kelompok tiang. Pada $L \leq 10$ m, faktor pengali *square pile* lebih besar dari *circle pile* sekitar 1.07 kali di

semua posisi tiang dalam kelompok tiang. Pada $L \leq 10$ m, faktor pengali *circle pile* lebih besar dari *square pile* sekitar 1.04 kali di semua posisi tiang dalam kelompok tiang.

Tabel 8. Faktor reduksi, P_m kelompok tiang

Jenis tanah	Sudut gesek ϕ°	Susunan tiang	Bentuk tiang	D (cm)	S/D	Kepala tiang	P_m , P -Multiplier for Row				Group reduction factor
							L (m)	1.00	2.00	3.00	
soft silty sand	10	 3x1	Square steel	42.9	3	Fixed	6.0	0.85	0.72	0.62	0.73
							8.0	0.75	0.58	0.46	0.60
							10.0	0.69	0.51	0.36	0.52
							12.0	0.62	0.42	0.30	0.45
							14.0	0.58	0.39	0.27	0.41
							16.0	0.55	0.35	0.24	0.38
							18.0	0.53	0.33	0.23	0.36
							20.0	0.51	0.32	0.21	0.35
soft silty sand	10	 3x1	Circle steel	40	3	Fixed	6.0	0.87	0.75	0.65	0.76
							8.0	0.77	0.60	0.48	0.62
							10.0	0.66	0.47	0.35	0.49
							12.0	0.59	0.39	0.28	0.42
							14.0	0.56	0.37	0.26	0.40
							16.0	0.51	0.32	0.22	0.35
							18.0	0.48	0.30	0.20	0.33
							20.0	0.47	0.28	0.19	0.32
soft silty sand	10	 1x3	Square steel	43	3	Fixed		the middle	the edge		
							6.0	1.00	1.00	1.00	
							8.0	1.00	1.00	1.00	
							10.0	0.99	0.99	0.99	
							12.0	0.93	0.96	0.95	
							14.0	0.84	0.92	0.88	
							16.0	0.81	0.90	0.86	
							18.0	0.75	0.86	0.86	
20.0	0.70	0.83	0.77								
soft silty sand	10	 1x3	Circle steel	40	3	Fixed		the middle	the edge		
							6.0	1.00	1.00	1.00	
							8.0	1.00	1.00	1.00	
							10.0	0.99	1.00	1.00	
							12.0	0.94	0.97	0.96	
							14.0	0.83	0.91	0.87	
							16.0	0.80	0.90	0.85	
							18.0	0.75	0.87	0.81	
20.0	0.69	0.83	0.76								

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus A. *et al.* (2018). “Daya Dukung Lateral Pada Fondasi Tiang Grup Dengan Konfigurasi 2 X 2”. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, Vol. 5 No. 1.
- Ahmad, I. (2012). “Analisa Lendutan Dan Distribusi Gaya Lateral Akibat Gaya Lateral Monotonik Pada Fondasi Tiang Kelompok”. *Jurnal Konstruksia*, Vol. 3 No. 2, April 2012.
- Ashour, M. *et al.* (1998). “Lateral Loading Of A Pile In Layered Soil Using The Strain Wedge Model”. *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, 124(4): 303-315.
- Ashour, M. dan Norris, G. (2000). “Modelling Lateral Soil-Pile Response Based on Soil-Pile Interaction”. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 126, pp. 420-428.
- Ashour, M. (2001). “Assessment of Pile Group Response under Lateral Load”. *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. Mar 26th - Mar 31st. paper 6.11.
- Ashour, M., Norris, G. dan Sherif Elfes (2006). “Improved p-y Curve Response Based on Strain Wedge Model Analysis”.
- Ashour, M. dan Ardalan, H. (2011). “Employment of the P-Multiplier in Pile-Group Analysis”. *Journal Of Bridge Engineering ASCE September/October 2011*, 16(5): 612-623.
- Broms, B. B. (1964). “The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils”. *Journal of the Soil Mechanic Division, ASCE*. Vol. 90, No. SM2, pp. 27-63.
- Fayyazi, M.S. *et al.* (2014). “Group reduction factors for analysis of laterally loaded pile groups”. *Can. Geotech. J.*, 51: 758–769.
- Hansen, J.B. (1961). “The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces”. Danish Geotechnical Institute, Copenhagen, Denmark. *Geoteknisk Institute Bulletin*, No.12, pp. 5-9.
- McNulty, J.F. dan Matlock, H. (1956). “Thrust Loading on Pile Proc. Journal Soil Mech and Foundation”. *DIV. LXXII. ASCE*.
- Naval Facilities Engineering Command DM-7.01 (NAVFAC DM-71) SOIL MECHANICS. (1986). “*Soils and Foundations Design Manuals*”. Cange.
- Reese, L.C. dan Matlock, H. (1956). “*Non-Dimensional Solution for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proporsional to Depth*”. Austin, Texas. Proc. of the 8th Texas Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.1-41.
- Reese, L.C., and Impe, W.F.V. (2010). “*Single piles and pile groups under lateral loading 2nd ed*”. CRC Press.