

EVALUASI PONDASI TIANG DENGAN PERILAKU UJUNG BEBAS

Deddy Eriza Prasetya¹, Moh. Abduh²

^{1,2}Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Deddy Eriza Prasetya)

Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

E-mail : camat@antiserieslink.com

Abstrak

Pembangunan suatu konstruksi yang pertama kali dilaksanakan dan dikerjakan di lapangan adalah pekerjaan pondasi, kemudian melaksanakan pekerjaan struktur atas. Secara umum pondasi didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan atas ke lapisan tanah keras di bawahnya. Perilaku pada ujung tiang pondasi yang bersifat bebas (free end) apabila penulangan tiang pondasi diletakkan dan diteruskan ke bagian pile cap hanya kurang dari setengah tebal pile cap. Beban gempa akan menghasilkan reaksi horizontal yang besar, hal ini akan membuat perilaku tahanan lateral suatu pondasi tiang. Pada perencanaan pondasi tiang ini digunakan pondasi bore pile dengan diameter 60cm. pada data tanah hasil SPT didapatkan tanah keras dan direkomendasikan kedalaman 7 meter untuk kedalaman pondasi. Dari data SPT didapatkan nilai daya dukung ijin tiang (Pall) sebesar 179.36. Dihitung kapasitas dukung aksial dan lateral pada kondisi direncanakan pondasi tiang dengan ujung bebas sehingga didapatkan nilai dukung lateral ultimit (Hu) sebesar 10,98 ton dengan momen maksimal (Mmaks) sebesar 41,07 ton. Pada hasil daya dukung tersebut terjadi keruntuhan pada tiang pondasi 6 dan tiang pondasi 9 dan diberikan penambahan tiang sebagai solusi agar pondasi aman ketika terjadi beban lateral akibat gempa.

Kata kunci : ujung bebas (free end), bore pile, daya dukung lateral

1. Pendahuluan

Pembangunan suatu konstruksi yang pertama kali dilaksanakan dan dikerjakan di lapangan adalah pekerjaan pondasi, kemudian melaksanakan pekerjaan struktur atas. Secara umum pondasi didefinisikan sebagai bangunan bawah tanah yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan atas ke lapisan tanah keras di bawahnya.

Struktur bawah sebagai pondasi bangunan, secara umum dibedakan menjadi pondasi dangkal (shallow foundation) dan pondasi dalam (deep foundation), tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan antara kedalaman pondasi dengan lebar pondasi. Sebelum merancang pondasi, dibutuhkan data tanah (borring log) yang akurat untuk menentukan metode konstruksi yang efisien.

Perilaku pada ujung tiang pondasi yang bersifat bebas (free end) apabila penulangan tiang pondasi diletakkan dan diteruskan ke bagian pile cap hanya kurang dari setengah tebal pile cap. Beban gempa akan menghasilkan reaksi horizontal yang besar, hal ini akan membuat perilaku tahanan lateral suatu pondasi tiang .

Penulis merasa perlunya studi evaluasi pondasi tiang dengan ujung bebas ini bisa menjadi pengetahuan baru, solusi masalah untuk peninjauan ulang dan wawasan baru untuk penulis, pembaca maupun pada ilmu teknik sipil pada umumnya yang dimana pada kebanyakan pembangunan sebuah Gedung, pondasi tiang yang direncanakan atau digunakan menggunakan perilaku ujung jepit (fixed end).

Peninjauan evaluasi pondasi yang akan dihitung dapat dilihat dari tipikal bentuk bangunan yang telah direncanakan. Perhitungan titik pondasi yang ditinjau berdasarkan beban kombinasi maksimal yang diperoleh dari hasil analisa software SAP 2000, dilanjutkan pada perhitungan daya dukung lateral dengan denah titik pondasi sesuai data gambar perencanaan dan terakhir adalah mengecek keruntuhan tiang pondasi menggunakan bantuan software PCA Column.

2. Metode Penelitian

2.1. Pengumpulan Data

- (1) Standar Penetration Test (SPT)
- (2) Pekerjaan SPT dan pencatatannya dilakukan setiap interval 2 m, pekerjaan SPT didasarkan pada ASTM standard D1586-84. Pada pengujian SPT ini diambil dari 2 titik uji, dimana didapatkan data kedalaman tanah keras.

2.2. Pembebanan Struktur Atas

- (1) Kombinasi beban menurut SNI-1726-2012:
 - (a) D
 - (b) D + L
 - (c) D + (Lr atau R)
 - (d) D + 0,75L + 0,75 (Lr atau R)
 - (e) D + (0,6W atau 0,7E)
 - (f) D + 0,75(0,6W atau 0,7E) + 0,75L + 0,75 (Lr atau R)
 - (g) 0,6D + 0,6W
 - (h) 0,6D + 0,7E

2.3. Menghitung Daya Dukung Tiang Tunggal

- (1) Menggunakan data tanah investigasi yang sudah ada (*boring log*)
- (2) Dihitung menggunakan mutu bahan

2.4. Menghitung Beban maksimal yang Diterima 1 Tiang Pondasi

Pada tahap ini perlu dilakukan perhitungan terhadap tiang untuk mengetahui berapa besar beban aksial maksimum yang terjadi.

2.5. Cek Keruntuhan

Setelah mendapatkan beban maksimal yang terjadi pada tiang pondasi, maka langkah selanjutnya adalah dengan mengecek keruntuhan pondasi akibat beban lateral dan kontrol momen dengan perilaku pondasi ujung bebas pada tiang tunggal dan grup.

2.6. Pembahasan

Setelah diketahui bagaimana keadaan pondasi, apabila terjadi keruntuhan maka perlu penambahan tiang dan dihitung lagi berapa jumlah tiang yang diperlukan. Lalu menentukan letak pondasi yang akan ditambah dalam formasi pondasi yang sudah tertanam pada gedung tersebut.

2.7. Tahapan Pelaksanaan Dalam Diagram Alir

Tabel 1 Uraian jenis tanah pada hasil uji SPT

o.	Kedalaman	Jumlah pukulan (N)	Jenis Tanah
.	0 m	0	Lanau Kepasiran (Coklat) 4 – 6 m
.	2 m	25	
.	4 m	20	
.	6 m	57	Pasir Grevel (Coklat) 6 - 7 m
.	8 m	60	Lanau Kepasiran (Coklat Hitam) 8 – 11 m
.	10 m	60	
.	12 m	60	Lanau Kepasiran (Coklat Putih) 11 – 16 m
.	14 m	60	
.	16 m	60	

Dari hasil uji SPT di lapangan diketahui tanah keras berada pada kedalaman 7 s/d 16.5 meter. Maka pada perencanaan pondasi tiang dengan ujung bebas ini dipakai pada kedalaman 7 meter.

3.2. Daya Dukung Ijin Tekan

Analisa daya dukung ijin tekan pondasi tiang terhadap kekuatan tanah dengan berdasarkan data SPT (Mayerhof) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_a = \frac{q_c \times A_p}{FK_1} + \frac{\sum li \times f_i \times A_{st}}{FK_2}$$

Dimana :

- Pa = Daya dukung ijin tekan tiang
- qc = 20N (silt/clay), 40N (sand)
- N = Nilai SPT
- Ap = Luas penampang
- Ast = Keliling penampang
- li = Panjang segmen tiang yang ditinjau
- fi = Gaya geser pada selimut segmen tiang, N maksimum 12 ton/m² untuk silt/clay, N/5 maksimum 10 ton/m² untuk sand
- FK = Faktor keamanan 3 & 5

Perhitungan :

Didapatkan data :

- (1) Ap = 0.28 m²
- (2) li = 2 m
- (3) fi = a. 12 t/m² (silt/clay)
b. 10 t/m² (sand)
- (4) D_{tiang} = 0.6 m
- (5) Ast = 1.88 m

- (6) N =
- | | | | |
|--|-------|--|--------|
| | 2) 25 | | 10) 60 |
| | 4) 20 | | 12) 60 |
| | 6) 57 | | 14) 60 |
| | 8) 60 | | 16) 60 |
- (7) qc =
- | | | | | | | | |
|--|--------------------------|--|---------------------------|--|--------------------------|--|---------------------------|
| | 2) 500 t/m ² | | 10) 1200 t/m ² | | 4) 800 t/m ² | | 12) 1200 t/m ² |
| | 6) 1140 t/m ² | | 14) 1200 t/m ² | | 8) 1200 t/m ² | | 16) 1200 t/m ² |

Jawab :

- a. $Pa = \frac{500 \times 0.28}{3} + \frac{24 \times 1.88}{5} = 56.14 \text{ ton}$
- b. $Pa = \frac{800 \times 0.28}{3} + \frac{32 \times 1.88}{5} = 87.42 \text{ ton}$
- c. $Pa = \frac{1140 \times 0.28}{3} + \frac{56 \times 1.88}{5} = 128.49 \text{ ton}$
- d. $Pa = \frac{1200 \times 0.28}{3} + \frac{80 \times 1.88}{5} = 143.18 \text{ ton}$
- e. $Pa = \frac{1200 \times 0.28}{3} + \frac{104 \times 1.88}{5} = 152.23 \text{ ton}$
- f. $Pa = \frac{1200 \times 0.28}{3} + \frac{128 \times 1.88}{5} = 161.27 \text{ ton}$
- g. $Pa = \frac{1200 \times 0.28}{3} + \frac{152 \times 1.88}{5} = 170.31 \text{ ton}$
- h. $Pa = \frac{1200 \times 0.28}{3} + \frac{176 \times 1.88}{5} = 179.36 \text{ ton}$

Dari hasil perhitungan yang di dapat, maka daya dukung ijin tekan tiang yang dipakai adalah = 179.36 ton

3.3. Beban Maksimal Pada Tiang

Akibat beban – beban dari atas juga dipengaruhi oleh formas tiang dalam satu kelompok tiang, tiang-tiang akan mengalami gaya tekan atau tarik. Oleh karena itu tiang-tiang harus dikontrol untuk memastikan bahwa masing-masing tiang dapat menahan bebn dari struktur atas sesuai dengan daya dukungnya.

Beban aksial dan momen yang bekerja akan didistribusikan ke pile cap dan kelompok tiang berdasarkan rumus elastisitas dengan menganggap bahwa pile cap kaku sempurna, sehingga pengaruh gaya yang bekerja tidak menyebabkan pilecap melengkung atau deformasi.

$$P_{maks} = \frac{P_u}{np} \pm \frac{M_y \times X_{maks}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \times Y_{maks}}{\sum y^2}$$

Di mana :

- P_{maks} = beban maksimum tiang
 P_u = gaya aksial yang terjadi
 M_y = momen yang bekerja tegak lurus sumbu Y
 M_x = momen yang bekerja tegak lurus sumbu X
 X_{maks} = jarak tiang arah sumbu X terjauh
 Y_{maks} = jarak tiang arah sumbu Y terjauh
 $\sum x^2$ = jumlah kuadrat X
 $\sum y^2$ = jumlah kuadrat Y
 np = jumlah tiang

Untuk pondasi yang diberikan beban aksial oleh dua kolom perlu dicari titik pusat beban guna menghitung nilai $\sum x^2$ & $\sum y^2$.

- a. Pondasi 1
- $$\begin{aligned} \sum X^2 &= (3 \times 2 \times 2.5^2) + (3 \times 2 \times 0.75^2) \\ &= 33,75 \text{ m}^2 \\ \sum Y^2 &= (4 \times 2 \times 1.5^2) \\ &= 18 \text{ m}^2 \end{aligned}$$
- b. Pondasi 2

$$P1 = 565,52 \quad \text{ton}$$

$$P2 = 567,37 \quad \text{ton}$$

$$M1 = 79,67 \text{ ton}$$

$$M2 = 80,23 \text{ ton}$$

$$L = 3 \quad \text{m}$$

$$e = 0,14 \quad \text{m}$$

$$x = \frac{P1x0 + P2xL + M1 + M2}{P1+P2}$$

$$x = \frac{565,52 \times 0 + 567,37 \times 3 + 79,67 + 80,23}{565,52+567,37}$$

$$= 1,64 \text{ m}$$

$$\Sigma X^2 = (4 \times 1 \times 3,61^2) + (4 \times 1 \times 2,11^2) + (4 \times 1 \times 0,61^2) + (4 \times 1 \times 3,89^2) + (4 \times 1 \times 2,39^2) + (4 \times 1 \times 0,89^2)$$

$$= 157,97 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = (6 \times 2 \times 2,25^2) + (6 \times 2 \times 0,75^2)$$

$$= 67,5 \text{ m}$$

c. Pondasi 3

$$P1 = 491,7 \text{ ton}$$

$$P2 = 490,57 \quad \text{ton}$$

$$M1 = 80,72 \text{ ton}$$

$$M2 = 81,32 \text{ ton}$$

$$L = 3 \quad \text{m}$$

$$e = 0,16 \quad \text{m}$$

$$x = \frac{P1x0 + P2xL + M1 + M2}{P1+P2}$$

$$x = \frac{491,70 \times 0 + 490,57 \times 3 + 80,72 + 81,32}{491,7+490,57}$$

$$= 1,66 \text{ m}$$

$$\Sigma X^2 = (3 \times 1 \times 4,34^2) + (3 \times 1 \times 2,84^2) + (3 \times 1 \times 1,34^2) + (3 \times 1 \times 4,66^2) + (3 \times 1 \times 3,16^2) + (3 \times 1 \times 1,66^2)$$

$$= 189,461 \text{ m}^2$$

$$\Sigma Y^2 = (7 \times 2 \times 1,5^2)$$

$$= 31,5 \text{ m}^2$$

Rekapitulasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2 rekapitulasi pondasi yang diberikan beban aksial

po ndasi	ΣX^2	ΣY^2
1	33,75 m ²	18 m ²
2	157,9 7 m ²	67,5 m
3	189,4 61 m ²	31,5 m ²
4	11,5 m ²	0 m ²
5	55,12 5 m ²	22,5 m ²
6	0,562 5 m ²	1,68 75 m ²
7	14,62 5 m ²	13,5 m ²

8	0 m ²	0,56 25 m ²
9	2,25 m ²	4,5 m ²
10	99,03 m ²	22,5 m ²

Tabel 3 Beban maksimal pada tiang

	Pon dasi	P maks
asi 1	Pond 4.18	6
asi 2	Pond 5.27	7
asi 3	Pond 13.72	1
asi 4	Pond 9.52	7
asi 5	Pond 3.99	5
asi 6	Pond 03.29	2
asi 7	Pond 8.37	7
asi 8	Pond 4.43	2
asi 9	Pond 65.48	1
asi 10	Pond 8.37	7

3.4. Analisa Daya Dukung Horizontal

Dalam analisis gaya horizontal, tiang perlu dibedakan menurut model ikatannya dengan penutup tiang (pile cap). Pada perencanaan yang dihitung kali ini adalah menggunakan tiang ujung bebas (free end). Menurut McNulty (1956) hal ini dikarenakan tiang pada bagian atas tidak terjepit kurang dari 60 cm[1].

- (1) Analisa tahanan lateral (H_u) pada tanah kohesif dengan ujung bebas :

Diketahui :

$$f'c = 29.05 \text{ MPa}$$

$$y_c = 2,4 \text{ ton/m}^3$$

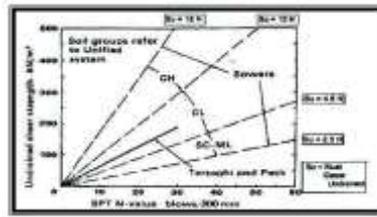
$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$L = 7 \text{ m}$$

$$N = 58,5$$

$$k_1 = 27 \text{ MN/m}^3 = 27 \text{ ton/m}^3 \text{ (direkomendasikan)}$$

$$c_u = 372 \text{ KN/m}^2 = 0.37 \text{ ton/m}^2$$



Gambar 3 Grafik Hubungan N SPT dengan c_u

- a) Tanah berupa lempung/lanau kaku over consolidation (OC), factor kekakuan untuk modulus konstan (R) dinyatakan :

$$\begin{aligned} K &= \text{modulus tanah} \\ k_1 &= \text{modulus reaksi} \\ &\quad \text{subgrade Terzaghi} \\ E &= \text{modulus elastis} \\ &\quad \text{tiang} \\ I &= \text{momen inersia tiang} \\ D &= \text{diameter tiang} \\ c_u &= \text{kohesi undrained} \end{aligned}$$

Hitung :

$$\begin{aligned} K &= k_1/1,5 \\ &= 27/1,5 = 18 \text{ Mn/m}^3 = 1800 \text{ t/m}^3 \\ E &= 4700\sqrt{f'c} \\ &= 4700\sqrt{29,05} \\ &= 25332,08 \text{ MPa} \\ &= 2533208 \text{ ton/m}^2 \\ I &= \frac{1}{4} \pi D^4 \\ &= \frac{1}{4} \times 22/7 \times 0,6^4 \\ &= 0,10 \text{ m}^4 \\ R &= \sqrt[4]{EI / K} \\ &= \sqrt[4]{253308 \times 0,10 / 1800} \\ &= 2,31 \text{ m} \end{aligned}$$

- b) Kriteria tiang kaku (pendek) dan tidak kaku (panjang) berdasarkan factor kekakuan :

$$\begin{aligned} L \leq 2R &= 7 \geq 4,81 && \text{(Tiang Panjang)} \\ L \leq 3,5R &= 7 \leq 8,07 && \text{(Tiang Kaku)} \end{aligned}$$

- c) Momen maksimum dan gaya lateral ultimate (H_u) 1 tiang untuk tanah kohesif :

$$I_p = \frac{1}{64} \pi D^3 \quad \text{(Inersia Penampang)}$$

$$= \frac{1}{64} \times 3,14 \times 600^3 = 10602875,2 \text{ mm}^3$$

$$W = I_p / D/2 \quad \text{(Tahanan Momen)}$$

$$= 10602875,2 / (600/2)$$

$$= 35342,92 \text{ mm}^3$$

$$= 0,035 \text{ m}^3$$

$$f_b = 0,4 \times f'c \quad \text{(Kuat Lentur Tiang)}$$

$$= 0,4 \times 29,05$$

$$= 11,62 \text{ MPa}$$

$$= 1162 \text{ t/m}^2$$

$$M_y = f_b \times W$$

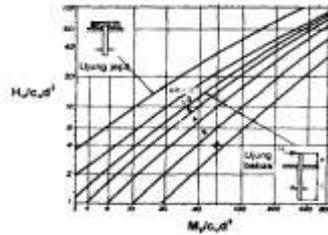
$$= 1162 \times 0,035$$

$$= 41,07 \text{ ton-m (diasumsikan sama dengan } M_{\text{maks}} \text{ untuk tiang Panjang)}$$

$$H_u/c_u \times d^2 = 82 \text{ (Grafik Gambar 4.6)}$$

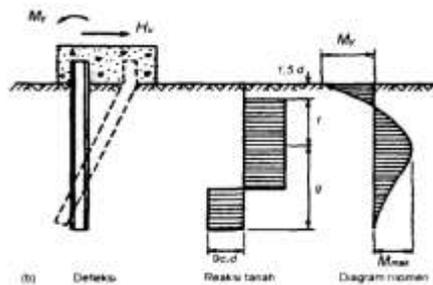
$$\frac{Hu}{0,37 \times 0,6^2} = 82$$

$$Hu = 10,98 \text{ ton}$$



Gambar 4 Tahanan Lateral ultimit tiang dalam tanah kohesif [2]

- f = letak momen maks di lintang 0
 e = jarak titik beban ke muka tanah(1,5D)
 $f = Hu / (9cu d)$
 $= 10,971 / (9 \times 0,37 \times 0,6)$
 $= 5,47 \text{ m}$



Gambar 5 Mekanisme keruntuhan akibat beban lateral

Menghitung besar momen maksimal yang terjadi akibat beban lateral. Menghitung dan menentukan momen maksimal (Mmaks), letak momen maksimal (f) dan letak beban yang diberikan (e) yang diasumsikan sebagai tebal pile cap untuk tipe pondasi dengan memberikan nilai beban aksial maksimum pada setiap tiang. Maka untuk data yang digunakan dalam perhitungan akan ditabelkan seperti di bawah ini :

2) Hitung momen maksimum akibat H pada setiap pondasi

(a) Pondasi 1

$$f = H / (9 cu d)$$

$$= 6,35 / (9 \cdot 0,37 \cdot 0,6)$$

$$= 3,16 \text{ m}$$

$$M_{maks} = H (e + 3d/2 + 1/2f)$$

$$= 6,35 (1,1 + 3 \cdot 0,6/2 + 1/2 \cdot 3,16)$$

$$= 227,25 \text{ KN}$$

(b) Pondasi 2

$$f = H / (9 cu d)$$

$$= 6,40 / (9 \cdot 0,37 \cdot 0,6)$$

$$= 3,19 \text{ m}$$

$$M_{maks} = H (e + 3d/2 + 1/2f)$$

$$= 6,40 (1,6 + 3 \cdot 0,6/2 + 1/2 \cdot 3,19)$$

$$= 262,05 \text{ KN}$$

Tabel 4 Rekapitulasi momen maksimal akibat H pada setiap pondasi

pondasi	f	Mmaks
1	3 ,16 m	227,2 5 KN
2	3 ,19 m	262,0 5 KN
3	3 ,55 m	318,8 5 KN
4	3 ,85 m	296,0 9 KN
5	2 ,72 m	183,6 2 KN
6	7 ,63 m	876,0 9 KN
7	3 ,26 m	230,8 2 KN
8	0 ,65 m	22,66 KN
9	4 ,67 m	397,4 4 KN
10	2 ,81m	192,3 0 KN

Hitung kapasitas beban pada tiang pondasi menggunakan software PCA Column dengan memasukkan data Pmaks dan Mmaks yang telah dihitung apakah masih aman atau mengalami keruntuhan. Dari hasil analisa di atas didapatkan bahwa pada setiap tiang pondasi yang mendapatkan beban vertikal maksimal akan menghasilkan momen maksimal juga. Sedangkan pada diagram interaksi tersebut memberikan seberapa besar kapasitas dukung dari tiang pondasi yang ditinjau dari mutu bahannya. Apabila tiang diberikan beban lateral dan menghasilkan nilai momen yang masih berada pada diagram interaksi tersebut bisa dikategorikan bahwa tiang pondasi tersebut aman, namun apabila beban vertikal dan momen yang didapat berada di luar diagram interaksi maka tiang pondasi tersebut dianggap mengalami keruntuhan. Maka solusi yang diberikan adalah dengan menambahkan tiang pada pondasi tersebut agar dapat menahan beban vertikal dan menghasilkan momen yang berada di dalam diagram interaksi tersebut. Pada pondasi 6 dan pondasi 9 nilai momen yang dihasilkan berada di luar diagram interaksi maka dapat disimpulkan bahwa pondasi tersebut mengalami keruntuhan dan perlunya penambahan tiang [3].

3.5. Menghitung Penambahan Jumlah Tiang Untuk Pondasi Yang Mengalami Keruntuhan.

Diberikan penambahan jumlah tiang agar pondasi tidak mengalami keruntuhan. Dengan menghitung besar beban maksimal yang terjadi pada 1 tiang (Pmaks) dan momen maksimal (Mmaks) akibat beban lateral yang terjadi. Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

(1) Pondasi 6

Pada pondasi 6 dihitung dengan penambahan 3 buah tiang sebagai berikut :

(a) Menghitung jarak formasi tiang terhadap sumbu X dan Y

$$\begin{aligned}\Sigma X^2 &= (2 \times 1 \times 2,25^2) + (2 \times 1 \times 0,75^2) + (1 \times 1 \times 0,75^2) + (1 \times 1 \times 2,25^2) \\ &= 16,875 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma X^2 &= (1 \times 1 \times 0^2) + (2 \times 2 \times 0,75^2) \\ &= 2,25 \text{ m}^2\end{aligned}$$

(b) $P_{maks} = \frac{241,06}{6} \pm \frac{45,75 \times 0,75}{16,88} \pm \frac{139,36 \times 2,25}{2,25}$
 $= 92,73 \text{ ton} < 179,36 \text{ (daya dukung ijin tiang) OK!}$

(c) Cek keruntuhan kelompok tiang $H_u \times n_p > H$
 $10,981 \times 6 = 65,89 \text{ ton} > 45,99 \text{ ton (Aman)}$

(d) Menghitung momen maksimal
 $f = H / (9 \text{ cu } D)$
 $= 7,66 / (9 \times 0,37 \times 0,6)$
 $= 3,82 \text{ m}$
 $M_{maks} = H (e + 3d/2 + \frac{1}{2} f)$
 $= 7,66 (1 + 3 \times 0,6/2 + \frac{1}{2} \times 3,82)$
 $= 291,83 \text{ KN}$

(2) Pondasi 9

Pada pondasi 9 dihitung dengan penambahan 1 buah tiang sebagai berikut :

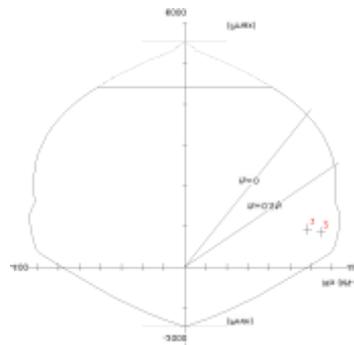
(a) Menghitung jarak formasi tiang terhadap sumbu X dan Y
 $\Sigma X^2 = (4 \times 1 \times 0^2) + (2 \times 2 \times 1,5^2)$
 $= 9 \text{ m}^2$
 $\Sigma Y^2 = (2 \times 2 \times 0,75^2) + (1 \times 1 \times 1,5^2) + (1 \times 1 \times 3^2)$
 $= 13,5 \text{ m}^2$
 $P_{maks} = \frac{305,65}{8} + \frac{80,74 \times 2,25}{9} + \frac{203,96 \times 4,5}{13,5}$
 $= 85,66 \text{ ton} < 179,36 \text{ (daya dukung ijin tiang) OK!}$

(b) Cek keruntuhan kelompok tiang $H_u \times n_p > H$
 $10,981 \times 8 = 87,85 \text{ ton} > 45,99 \text{ ton (Aman)}$

(c) Menghitung momen maksimal
 $f = H / (9 \text{ cu } D)$
 $= 8,21 / (9 \times 0,37 \times 0,6)$
 $= 4,09 \text{ m}$
 $M_{maks} = H (e + 3d/2 + \frac{1}{2} f)$
 $= 8,21 (1 + 3 \times 0,6/2 + \frac{1}{2} \times 4,09)$
 $= 323,79 \text{ KN}$

3.6. Analisa Daya Dukung Horizontal Setelah Penambahan Tiang

Dari hasil perhitungan pada bab 4.9 maka selanjutnya diinput pada PCA Column apakah beban aksial maksimal pada 1 tiang pondasi (P_{maks}) dan momen maksimal (M_{maks}) yang terjadi tidak mengalami keruntuhan ditampilkan dalam diagram di bawah ini :



Gambar 6 Diagram interaksi pada tiang pondasi 6 & pondasi 9

Dari hasil analisa di atas didapatkan hasil pada tiang pondasi 6 dan pondasi 9 setelah penambahan tiang pondasi dapat dinyatakan aman.

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan Analisa yang telah dilakukan oleh penulis, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- (1) Jenis tanah di lokasi penelitian untuk perencanaan pondasi adalah Lanau kepasiran dan Pasir Grevel. Pada kondisi tanah yang ditinjau dari hasil SPT, tanah keras berada pada kedalaman 7 s/d 16,5 meter. Maka pada perencanaan pondasi dipakai pada kedalaman 7 meter.
- (2) Beban aksial terbesar (Pmaks) dari struktur atas untuk tiang pada setiap pondasi yang dikalikan dengan efisiensi kelompok tiang dapat dilihat pada **Tabel 3**
- (3) Kapasitas dukung aksial (Pile) untuk tiang pondasi yang dihitung berdasarkan nilai SPT adalah sebesar 179,36 ton.
- (4) Kapasitas dukung lateral untuk 1 tiang pondasi (Hu) adalah sebesar 10,98 ton dan momen maksimal yang terjadi sebesar 41,07 ton-m. Dihitung pada keamanan lateral ultimit kelompok pada pondasi 6 terjadi keruntuhan. Kapasitas dukung lateral akibat beban gempa untuk pondasi didapatkan dilihat pada tabel 4 Terjadi keruntuhan pada tiang pondasi 6 dan pondasi 9, maka diberikan solusi penambahan tiang sebanyak 3 tiang untuk pondasi 6 dan 1 tiang untuk pondasi 9.
- (5) Untuk solusi desain pondasi tiang dengan perilaku ujung bebas ini diberikan penambahan tiang tanpa membongkar pondasi yang sudah di pasang.

Referensi

- [1] J. McNulty, "Administrative Costs and Scale of Operations in the US Electric Power Industry-A Statistical Study," *The Journal of Industrial Economics*, vol. 5, pp. 30-43, 1956.
- [2] B. B. Broms, "Lateral resistance of piles in cohesive soils," *Journal of the soil mechanics and foundations division*, vol. 90, pp. 27-63, 1964.
- [3] P. Damarhadi, Y. M. Purwana, and R. H. Dananjaya, "ANALISIS KEGAGALAN PONDASI TIANG KELOMPOK PADA KONSTRUKSI PILAR JEMBATAN," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 3, 2015.