

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Proyek

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh secara langsung dari pihak kontraktor Pelaksana proyek Swiss-Bell Hotel solo yaitu PT Sarana Bangun Perkasa. Adapun data sekunder yang digunakan pada penelitian ini antara lain data struktural berupa gambar rencana, data parameter tanah pengujian di laboratorium dan data penyelidikan tanah dilapangan dengan SPT (*standard Penetration Test*). Data parameter tanah pengujian di laboratorium dan data penyelidikan SPT dapat dilihat pada lampiran 2, sedangkan data struktural dapat dilihat pada lampiran 3.

Pada penelitian ini ,pondasi *bored pile* yang akan dilakukan analisis adalah kolom titik C16 atau pondasi tipe pc4a. Sebelum dilakukan analisis permodelan PLAXIS 2D dan perhitungan manual dengan menggunakan metode *Reese and O'neil, Broom* dan *Poulos & Davis*. Untuk itu diperlukan perhitungan pembebanan struktural untuk memperoleh besarnya gaya aksial kolom pada kolom titik C16. Gaya aksial kolom C16 didapatkan dengan melakukan analisis pembebanan menggunakan *software* ETABS.

5.2 Data Karakteristik Tanah

Penyelidikan tanah dilakukan beredasarkan penyelidikan tanah dilapangan dan pengujian *sample* tanah dilaboratorium. Pengujian dilapangan dilakukan dengan metode *Standart Penetration Test* (SPT) dibeberapa titik tertentu. Pada penelitian ini data SPT yang digunakan adalah data SPT pada titik BH1. Hasil penyelidikan tanah dilapangan dan hasil pengujian sample tanah dilaboratoirum dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian tanah dilaboratorium titik BH 1

Depth (m)	Titik BH1					
	w (%)	G	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	Direct Shear Test	
					C (kN/m ²)	ϕ (deegre)
-5.00	25,03	2,38	10,98	7,16	16,5	12.10
-10.00	32,72	2,67	15,79	11,47	5,88	26.94
-15.00	20,2	2,66	17,06	13,36	4,805	25
-20.00	35	2,65	18,34	14,2	4,906	36

depth (m)	deskripsi tanah	NV	kedalaman (m)	Sketsa kedalamn pondasi tiang
1	Pasir Berlempung (coklat, hitam)		2	
2		2		
3	Lanau kepasiran (coklat, hitam)		5	
4		3		
5				
6		17		
7				
8	Pasir Kasar (coklat, hitam)	28	4	
9				
10		26		
11				
12	Lanau Kepasiran (Coklat, hitam)	21	10	
13				
14		30		
15				
16		28		
17				
18		28		
19				
20		32		
21				
22	Pasir (coklat, abu-abu)	29	8	
23				
24		38		
25				
26		42		
27				
28		43		
29				
30	Pasir sedikit lempung (coklat, abu-abu)	48	3	
31				
32		50		
33	Pasir Kasar (coklat, abu-abu)		2	
34		58		
35				
36	Pasir kelanauan (coklat, abu-abu)	59	5	
37				
38		60		
39				

Gambar 5.1 Geometri Struktur dan Lapisan Tanah Titik BH 1

Dari gambar 5.1 pondasi berada pada kedalaman -12 m dibawah basemant. Dari tabel 5.1 tidak semua lapisan panah mempunyai data parameter tanah, sedangkan data yang diperlukan untuk analisis kapasitas dukung pondasi bore pile dengan metode Reese and O'neil, metode Broom, Poulus & Davis dan metode elemen hingga (PLAXIS 2D) diantaranya : γ (berat volume basah), γ_{sat} (berat volume jenuh), ϕ (sudut gesek dalam), modulus elastisitas (E),poisson ratio (ν),kohesi (c), permeabilitas (k) dan sudut dilatasi (Ψ). Sehingga perlu dilakukan perhitungan secara teoritis dan pendekatan untuk mendapatkan data parameter tanah yang dibutuhkan.

Tabel 5.2 Korelasi Berat Tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Non Kohesif

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
N-SPT					
Fine	1 - 2	3 - 6	7 - 15	16 - 30	-
Medium	2 - 3	4 - 7	8 - 20	21 - 40	>40
Coarse	3 - 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	>45
ϕ					
Fine	26 - 28	28 - 30	30 - 34	33 - 38	-
Medium	27 - 28	30 - 32	32 - 36	36 - 42	<50
Coarse	28 - 30	30 - 34	33 - 34	40 - 45	-
γ_{sat} (kN/m ³)	11 - 16	14 - 18	17 - 20	17 - 22	20 - 23

Sumber : Whitman dan Robert (1962)

Perhitungan parameter tiap lapisan tanah dapat dilakukan sebagai berikut :

1) Lapisan 1 -12 sampai 15 m (Lanau Kepasiran)

$$\text{Berat volume kering } (\gamma_d) = 13,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat volume basah } (\gamma) = 17,06 \text{ kN/m}^2$$

$$w (\%) = 40,2$$

$$G = 2,66$$

$$e = \frac{(G_s \times \gamma_w) - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{(2,66 \times 9,81) - 13,36}{13,36} = 0,953$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} = \frac{(2,66 \times 0,953) - 9,81}{1 + 0,953} = 18,147 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan 2 -15 sampai 20 m (Pasir)

$$\text{Berat volume kering } (\gamma_d) = 14,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat volume basah } (\gamma) = 18,34 \text{ kN/m}^2$$

$$w (\%) = 30$$

$$G = 2,65$$

$$e = \frac{(G_s \times \gamma_w) - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{(2,65 \times 9,81) - 14,2}{14,2} = 0,830$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1 + e} = \frac{(2,65 \times 0,830) - 9,81}{1 + 0,839} = 18,651 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan 3 -20 sampai 29 m (Lanau kepasiran)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh (γ_{sat}) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam (ϕ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah (G_s) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan (S) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,67$$

$$N\text{-SPT} = 38$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 19 - 9,81 = 9,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,67 - 1)9,81) - 9,19}{9,19} = 0,783$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,793}{2,67} = 22 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1 + e} = \frac{2,67 \times 9,81 (1 + 0,222)}{1 + 0,793} = 17,966 \text{ kN/m}^3$$

4) Lapisan 4 -29 sampai 32 m (Pasir sedikit lempung)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh (γ_{sat}) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam (ϕ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah (G_s) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan (S) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,674$$

$$N\text{-SPT} = 49$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 21 - 9,81 = 11,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,674 - 1)9,81) - 11,19}{11,9} = 0,468$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,468}{2,674} = 13,29 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1+e} = \frac{2,674 \times 9,81 (1+0,132)}{1+0,468} = 20,25 \text{ kN/m}^3$$

5) Lapisan 4 -29 sampai 32 m (Pasir sedikit lempung)

Dari tabel 5.2 diperoleh nilai berat tanah jenuh (γ_{sat}) dari hubungan SPT. Nilai sudut gesek dalam (ϕ) diperoleh dari gambar 3.4 dan nilai berat jenis tanah (G_s) didapat dari tabel 3.1. Dari tabel 3.2 didapat derajat kejenuhan (S) dalam kondisi basah sebesar 0,76.

$$G_s = 2,68$$

$$N\text{-SPT} = 59$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 23 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 23 - 9,81 = 13,19 \text{ kN/m}^3$$

$$e = \frac{((G_s - 1)\gamma_w) - \gamma'}{\gamma'} = \frac{((2,68 - 1)9,81) - 13,19}{13,19} = 0,249$$

$$w = \frac{s \times e}{G_s} = \frac{0,76 \times 0,249}{2,68} = 7,1 \%$$

$$\gamma = \frac{G_s \times \gamma_w (1+w)}{1+e} = \frac{2,68 \times 9,81 (1+0,071)}{1+0,249} = 22,530 \text{ kN/m}^3$$

setelah didapatkan data parameter tanah yang dibutuhkan untuk analisis kapasitas dukung tiang bor pada tiap lapisan, maka analisis kapasitas dukung tiang bor dengan metode *Reese and O'neil*, *Brom* dan *PLAXIS 2D V8.6* dapat dilakukan. Data parameter tanah pada tiap lapisan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Data Parameter Tanah pada Tiap-Tiap Lapisan

Titik BH1				
Depth (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	C (kN/m ²)	φ (degree)
-3	18,14744	17,06	4,806	25
-8	18,65151	18,34	4,905	36
-17	19	17,96632	4,806	35,5
-20	21	20,2499	4,806	41
-23	23	22,52989	4,806	43

5.3 Analisis Data

5.3.1 Analisis Pembebanan

Data struktur yang digunakan pada proses analisis pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.4a dan Tabel 5.4b.

Tabel 5.4a Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo

Jumlah Lantai	11	Tingkat
Jumlah portal arah x	4	Buah
Jumlah portal arah y	7	Buah
Total tinggi bangunan	34,2	M
Tipikal balok	14	Buah
Tipikal kolom	30	Buah
Berat jenis beton	24	kN/m ³
W	10	kN/m ³
Struktur atas	30	Mpa
Pondasi	30	Mpa

Tabel 5.4b Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo

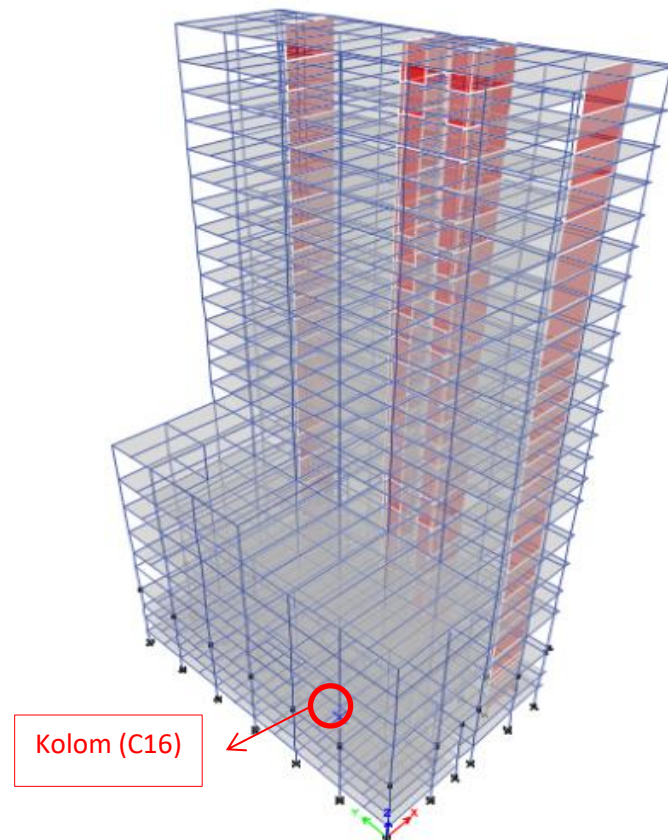
variasi jarak (s)	Rekapitulasi	A (m ²)	I	EA	EI
			(m ⁴)	(kN)	(kNm ²)
2,5D	Pile cap	20,25	34,171	521294944,1	879685218
	Bore pile	1,57	0,05159	40416447,52	1328300,02
2D	Pile cap	16	21,333	411887363,2	549183151

	Bore pile	1,57	0,0806	40416447,52	2075468,78
--	-----------	------	--------	-------------	------------

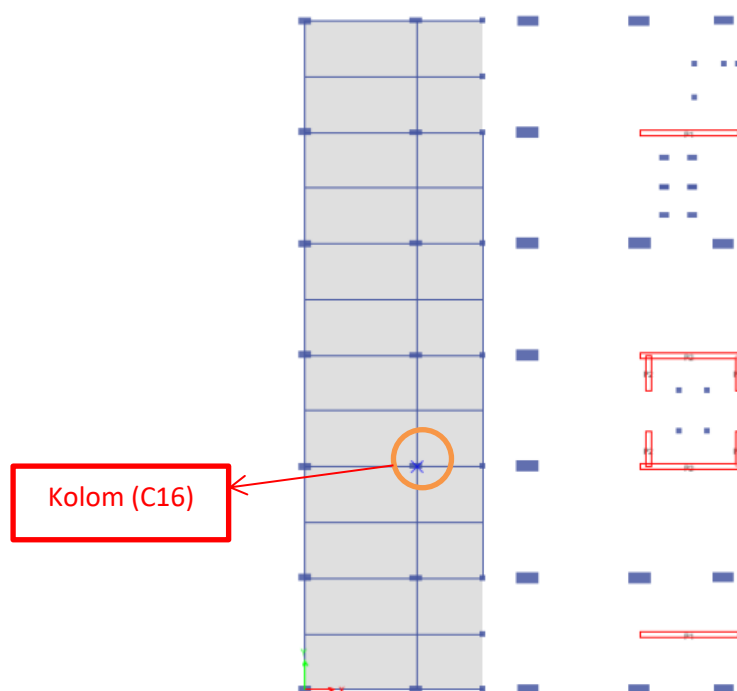
Lanjutan Tabel 5.4b Data Struktur Proyek Swiss-Bel Hotel Solo

variasi jarak (s)	Rekapitulasi	A (m ²)	I	EA	EI
			(m ⁴)	(kN)	(kNm ²)
4D	Pile cap	36	108	926746567,3	2780239702
	Bore pile	1,57	0,0201	40416447,52	518867,195
5D	Pile cap	49	200,083	1261405050	5150737287
	Bore pile	1,57	0,01289	40416447,52	332075,005

Beban yang digunakan pada penelitian ini adalah beban aksial kolom pada kolom titik C16. Pada proses analisis pembebanan digunakan pedoman SNI-1727 2013 tentang peraturan pembebanan indonesia untuk gedung dan bangunan lain. Permodelan serta analisis pembebanan dengan menggunakan *software* ETABS dapat dilihat pada Gambar 5.2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.2 Permodelan Struktur pada *Software* ETABS



Gambar 5.3 Tampak Atas Basemant 1 pada *Software* ETABS

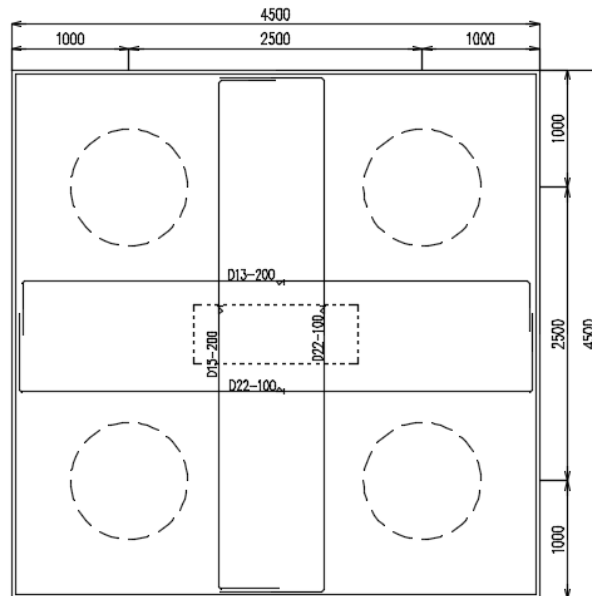
Dari hasil output ETABS diperoleh gaya-gaya maksimum akibat kombinasi beban pada kolom (c16).

Beban aksial (P) = 6084,74 kN

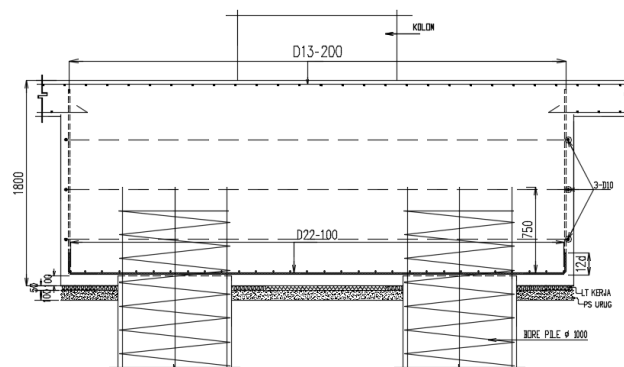
Gaya geser (V) = 89,459 kN

Moment (M) = 98,689 kN.m

Setelah didapatkan gaya-gaya maksimum pada titik yang ditinjau, dilakukan pengecekan pada gambar struktur untuk mengetahui geometri pondasi yang berada tepat dititik tersebut. Sehingga nantinya geometri pada kolom titik C16 tersebutlah yang digunakan pada analisis daya dukung pondasi. Geometri pondasi pada kolom titik C16 dengan menggunakan tipe pondasi PC4a dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



Gambar 5.4 Tampak Atas Geometri Pondasi Tipe PC 4a



Gambar 5.5 Potongan Melintang Pondasi Tipe PC 4a

5.3.2 Analisis Data dengan Metode Reese & O'neil

1. Tahanan ujung ultimit

Berdasarkan metode Reese & O'neil, perhitungan tahanan ujung neto tiang bor dengan menggunakan Persamaan 3.10 dan perhitungan besarnya tahanan ujung ultimit dengan menggunakan Persamaan 3.11.

a. Luas dasar tiang (Ab)

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_b = 0,785 \text{ m}^2$$

b. Tahanan ujung neto per satuan luas

$$fb = 0,6 \times \sigma_r \times N_{60}$$

$$fb = 0,6 \times 100 \times 54$$

$$fb = 3240 \text{ kN/m}^2$$

c. Tahanan ujung ultimit

$$Q_b = A_b \times fb$$

$$Q_b = 0,785 \times 3240$$

$$Q_b = 2543,4 \text{ kN}$$

Perhitungan tahanan ujung tiap variasi jarak didapatkan hasil yang sama. Hal ini disebabkan karena diameter tiang tiang bor yang digunakan untuk perhitungan masing-masing variasi jarak sama.

2. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan tahanan gesek satuan menggunakan persamaan 3.13 dan besarnya tahanan gesek ultimit menggunakan persamaan 3.17.

a. Luas selimut tiang (A_s)

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times h$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$A_s = \pi \times d \times (h_2 - h_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 3)$$

$$A_s = 15,7 \text{ m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$A_s = \pi \times d \times (h_3 - h_2)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (17 - 8)$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$A_s = \pi \times d \times (h_4 - h_3)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (20 - 17)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$A_s = \pi \times d \times (h_5 - h_4)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

b. Tekanan *overburden* di tengah-tengah lapisan tanah

Perhitungan tekanan *overburden* menggunakan persamaan 3.14.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$p'_{0-3} = h_1 \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)$$

$$p'_{0-3} = 3 \times (18,15 - 9,81)$$

$$p'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$p'_{3-8} = (h_2 - h_1) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{0-3}$$

$$p'_{3-8} = (8 - 3) \times (18,65 - 9,81) + 25,02$$

$$p'_{3-8} = 69,22 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$p'_{8-17} = (h_3 - h_2) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{3-8}$$

$$p'_{8-17} = (17 - 8) \times (19 - 9,81) + 69,22$$

$$p'_{8-17} = 151,93 \text{ kN/m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$p'_{17-20} = (h_4 - h_3) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{8-17}$$

$$p'_{17-20} = (20 - 17) \times (21 - 9,81) + 151,93$$

$$p'_{17-20} = 185,5 \text{ kN/m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$p'_{20-23} = (h_5 - h_4) \times (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) + p'_{17-20}$$

$$p'_{20-23} = (23 - 20) \times (23 - 9,81) + 185,5$$

$$p'_{20-23} = 225,07 \text{ kN/m}^2$$

c. Tekanan *overburden* di tengah lapisan tanah rata-rata

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{0-3}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 25,02$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 12,51 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{0-3} + p'_{3-8}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 25,02 + 69,22$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 47,12 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{3-8} + p'_{8-17}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 69,22 + 151,93$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 110,575 \text{ kN/m}^2$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{8-17} + p'_{17-20}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 151,93 + 185,5$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 168,715 \text{ kN/m}^2$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times p'_{17-20} + p'_{20-23}$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = \frac{1}{2} \times 185,5 + 225,05$$

$$p'_{\text{rata-rata}} = 205,285 \text{ kN/m}^2$$

untuk perhitungan tekanan overburden dan luas selimut tiap-tiap variasi didapatkan sama. Hal ini disebabkan karena diameter dan tinggi muka air tiap variasi jarak (s) adalah sama. Rekapitulasi perhitungan luas selimut dan tekanan *overburden* dapat dilihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Rekapitulasi perhitungan tekanan *overburden*

Kedalaman (m)	As (m ²)	P'o (kN/m ²)	P'o rata-rata (kN/m ²)
3	9,42	25,02	12,51
8	15,7	69,22	47,12
17	28,26	151,93	110,57
20	9,42	185,5	168,71
23	9,42	225,07	205,285

d. Perhitungan koefisien β

Perhitungan koefisien β tiap lapisan tanah akan digunakan persamaan 3.16a

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{1,5}$$

$$\beta = 1,999$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{5,5}$$

$$\beta = 0,925$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{12,5}$$

$$\beta = 0,633$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{18,5}$$

$$\beta = 10,446$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{z}$$

$$\beta = 1,5 - 0,245 \sqrt{21,5}$$

$$\beta = 0,363$$

e. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan nilai tahanan gesek ultimit dengan menggunakan persamaan 3.17 adalah sebagai berikut.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,199 \times 12,51$$

$$Q_s = 141,405 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 15,7 \times 0,925 \times 47,12$$

$$Q_s = 684,613 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 28,26 \times 0,633 \times 110,575$$

$$Q_s = 1980,511 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,446 \times 168,715$$

$$Q_s = 709,167 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times \beta \times P'_{\text{rata-rata}}$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,363 \times 205,285$$

$$Q_s = 703,862 \text{ kN}$$

Karena variasi jarak tiang tidak berpengaruh terhadap perhitungan koefisien β dan tahanan gesek ultimit, sehingga bersamanya nilai koefisien β dan tahanan gesek ultimit adalah sama.

3. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

a. Efisiensi kelompok tiang bor (E_g)

perhitungan efisiensi tiang (E_g) dengan menggunakan persamaan 3.23.

1) Variasi jarak (s) 2,5D

$$E_g = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$E_g = 1 - \left(\text{arc tg } \frac{1}{2,5} \right) \times \frac{(2-1) 2 + (2-1) 2}{90 \cdot 2 \times 2}$$

$$E_g = 0,757$$

2) Variasi jarak (s) 2D

$$E_g = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$E_g = 1 - \left(\text{arc tg } \frac{1}{2} \right) \times \frac{(2-1) 2 + (2-1) 2}{90 \cdot 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,7048$$

3) Variasi jarak (s) 4D

$$Eg = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$Eg = 1 - \left(\text{arc tg } \frac{1}{4} \right) \times \frac{(2-1) 2 + (2-1) 2}{90 \cdot 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,844$$

4) Variasi jarak (s) 5D

$$Eg = 1 - Q \frac{(n-1) m + (m-1) n}{90 m n}$$

$$Eg = 1 - \left(\text{arc tg } \frac{1}{5} \right) \times \frac{(2-1) 2 + (2-1) 2}{90 \cdot 2 \times 2}$$

$$Eg = 0,874$$

b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.20 dan Persamaan 3.22.

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 23 \times 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - H_w) \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times (23 - 0) \times 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$W_p' = 433,32 - 177,119$$

$$W_p' = 256,2005$$

c. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan Persamaan 3.19. dan perhitungan faktor aman menggunakan Persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p'$$

$$Q_u = 2543,4 + 4219,561 - 256,2005$$

$$Q_u = 6506,761 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_u}{\text{SF}}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{(6506,761)}{2,5}$$

$$Q_{\text{all}} = 2602,704 \text{ kN}$$

- d. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal
Perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal menggunakan Persamaan 3.33. Variasi jarak (s) 2,5D

$$Q_g = Q_{\text{all}} \times n \times E_g$$

$$Q_g = 2602,704 \times 4 \times 0,750$$

$$Q_g = 7888,171 \text{ kN}$$

Tabel 5.6 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
2,5D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,75	2602,7	7888,92	aman
4D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,84	2602,7	8787,16	aman
5D	256,2	2543,4	4219,5	6506,76	0,87	2602,7	9102,53	aman

4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang (s/d), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 4 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

a. Variasi jarak 2,5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$$

b. Variasi jarak 4D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

1. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$$

c. Variasi jarak 5D

2. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

3. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok. Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas

dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geomteri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.3.

d. Mencari luas ujung tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

e. Mencari luas selimut tiang (A_s)

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

f. Mencari nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan *overburden* tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan *overburden* untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal. Rekapitulasi besar nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah dapat dilihat pada tabel 5.5.

g. Perhitungan tahanan gesek tiang

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 12,51$$

$$Q_s = 25,12 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 47,12$$

$$Q_s = 197,568 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 110,575$$

$$Q_s = 450,654 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 168,117$$

$$Q_s = 921,925 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 205,285$$

$$Q_s = 1236,704 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D, dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor

variasi jarak (s)	z (m)	AS (m ²)	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5D	3	14	25,125	2831,98
	8	14	197,568	
	17	14	450,654	
	20	14	921,925	
	23	14	1236,7	
4D	3	20	35,893	4045,68
	8	20	282,24	
	17	20	643,792	
	20	20	1317,07	
	23	20	1766,18	

Lanjutan Tabel 5.7 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor

variasi jarak	z (m)	AS (m ²)	Qs (kN)	Qs total (kN)
---------------	-------	----------------------	---------	---------------

(s)				
5D	3	24	43,07	4854,82
	8	24	338,68	
	17	24	772,55	
	20	24	1580,44	
	23	24	2120,06	

h. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (q_p)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Q_p) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dan didapatkan hasil Q_p sebesar 2543,4 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / S_f$$

$$q_p = \frac{2543,4}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 1296 \text{ kN/m}^2$$

i. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas (f_s)

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d + \Delta L) + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d + \Delta L} / S_f$$

$$f_s = \frac{2831,978}{\pi \times 1 + 23} / 2,5$$

$$f_s = 15,685 \text{ kN/m}^2$$

j. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-labarre* pada persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor (E_g) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada tabel 5.6.

Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = Lg \times Bg \times qp + (\Sigma 2 \times (Lg + Bg) \times \Delta L \times fs)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 3,5 \times 3,5 \times 1296 + (\Sigma 2 \times (3,5 + 3,5) \times 23 \times 15,685)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 20926,662 \text{ kN}$$

Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

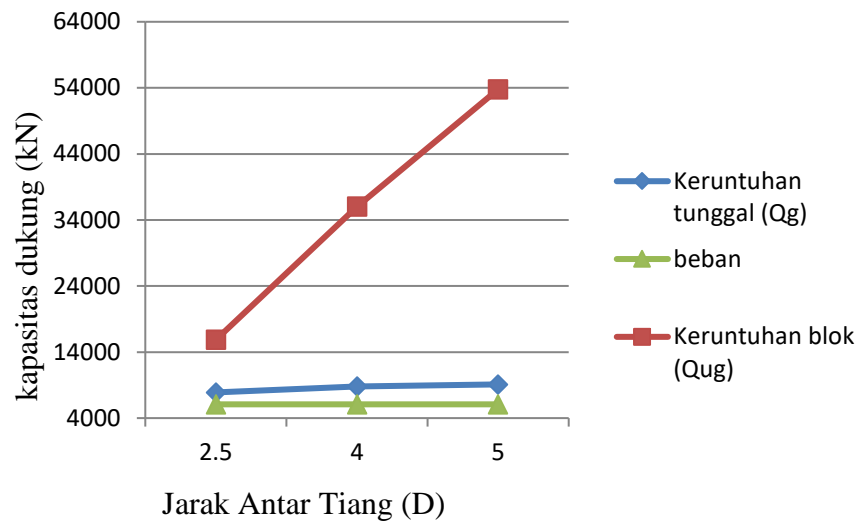
$$Q_{ug} = 20926,662 \times 0,757$$

$$Q_{ug} = 15857,431 \text{ kN}$$

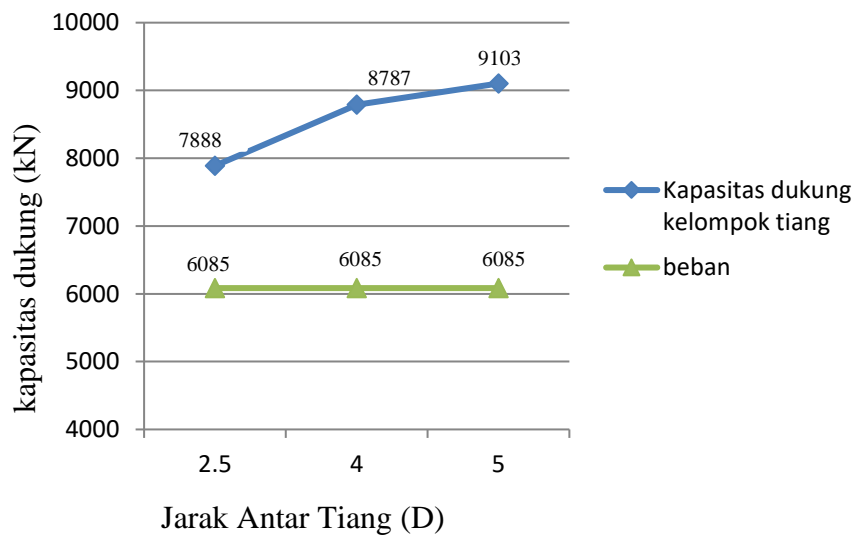
Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.6.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok

variasi (s)	Nilai		perbandingan	digunakan	Ket
2,5D	Qg(Kn)	7888,92	Q _{ug} > Q _g	Q _g	Aman
	Q _{ug} (Kn)	15857,4			
4D	Qg(Kn)	8787,16	Q _{ug} > Q _g	Q _g	Aman
	Q _{ug} (Kn)	36046,9			
5D	Qg(Kn)	9102,53	Q _{ug} > Q _g	Q _g	aman
	Q _{ug} (Kn)	53770,5			



Gambar 5.6 Rekapitulasi Kapasitas Dukung keruntuhan Tunggal dan Kapasitas Dukung Keruntuhan Blok



Gambar 5.7 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode Reese and O'Neil

5.3.3 Analisis Data Dengan Metode Brom

Parameter data tanah dan gambar geometri struktur yang digunakan pada perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang dengan menggunakan rumus Brom dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Gambar 5.1. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang pada variasi jarak 2,5D.

Tabel 5.9 Data Parameter tanah perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang metode *Brom*

kedalaman (m)	lapisan tanah	ϕ (degree)	γ_b (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
3	lanau kepasiran	25	17,06	18,15
8	lanau kepasiran	36	18,36	18,65
17	Pasir	35,5	17,96	19
20	pasir sedikit lempung	41	20,25	21
23	pasir kasar	43	22,53	23

1. Tahanan ujung ultimit

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit dengan metode *Brom* digunakan Persamaan 3.24. besarnya nilai N_q didapat dari gambar 3.4 dan nilai tekanan *overburden* dihitung sampai kedalaman kritis (z_c). Nilai tahanan ujung satuan (f_b) tidak boleh melebihi maksimum 10700 kN/m². Berikut perhitungan tahanan ujung ultimit pada variasi jarak 2,5D.

1) Luas dasar tiang (A_b)

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_b = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_b = 0,785 \text{ m}^2$$

2) Perhitungan tekanan *overburden* dengan kedalaman 7D

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$P'_{0-3} = h_1 \times (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

$$P'_{0-3} = 3 \times (18,15 - 9,81)$$

$$P'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$p'_{3-7} = (h_2 - h_1) \times (\gamma_{sat} - \gamma_w) + p'_{0-3}$$

$$p'_{3-7} = (7-3) \times (18,65 - 9,81) + 25,02$$

$$p'_{3-7} = 60,38 \text{ kN/m}^2$$

3) Tahanan ujung ultimit (Q_b)

$$N_q = 165$$

$$Q_b = A_b \times P_b' \times N_q$$

$$Q_b = 0,785 \times 60,38 \times 165$$

$$Q_b = 7820,72 \text{ kN}$$

Cek terhadap batasan tahanan ujung satuan maksimum

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$f_b = \frac{7820,72}{0,785}$$

$$f_b = 9962,7 \text{ kN/m}^2 \leq 10700 \text{ kN/m}^2$$

Dari perhitungan diatas, besarnya tahanan ujung satuan tidak melebihi tahanan ujung satuan maksimum. Sehingga tahanan ujung ultimit (Q_b) = 7820,72 kN dapat dipakai. Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit pada variasi jarak (s) 4D dan 5D didapat hasil yang sama.

2. Tahanan gesek ultimit

Berikut tahapan perhitungan tahanan gesek ultimit dengan cara *broom* menggunakan persamaan 3.26.

a. Luas selimut tiang

- 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times h$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

- 2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$A_s = \pi \times d \times (h_2 - h_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (7 - 3)$$

$$A_s = 12,56 \text{ m}^2$$

- 3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-19 sampai -20)

$$A_s = \pi \times d \times (h_3 - h_2)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 7)$$

$$A_s = 3,14 \text{ m}^2$$

- 4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-20 sampai -29)

$$A_s = \pi \times d \times (h_4 - h_3)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (17 - 8)$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}^2$$

- 5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 m (-29 sampai -32)

$$A_s = \pi \times d \times (h_5 - h_4)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (20 - 17)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

- 6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 m (-32 sampai -35)

$$A_s = \pi \times d \times (h_6 - h_5)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (23 - 20)$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}^2$$

Untuk perhitungan luas selimut tiang pada variasi 4D dan 5D diperoleh hasil yang sama, karena diameter tiang yang digunakan sama.

- b. Perhitungan $K_d \text{ tg } \delta$

Nilai - nilai dari δ dan K_d diperoleh dari pendekatan pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8. Perhitungan $K_d \text{ tg } \delta$ dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perhitungan $K_d \text{ tg } \delta$

kedalaman (m)	Kepdatan	ϕ	Kd	Reduksi ϕ	δ (degree)	$K_d \text{ tg } \delta$
3	Padat	25	2	0,75 ϕ	18,75	0,678909
7	Padat	36	2	0,75 ϕ	27	1,019051
8	Padat	36	2	0,75 ϕ	27	1,019051
17	Padat	35,5	2	0,75 ϕ	26,625	1,002617
20	Padat	41	2	0,75 ϕ	30,75	1,189875
23	sangat padat	43	2	0,75 ϕ	32,25	1,261906

- c. Perhitungan tahanan gesek ultimit (Q_s)

Perhitungan tahanan gesek ultimit menggunakan persamaan 3.26

- 1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = \sum A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \sum A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times (0,5 \times p'_{0-3})$$

$$Q_s = 9,42 \times 0,678 \times (0,5 \times 25,02)$$

$$Q_s = 80,005 \text{ kN}$$

- 2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-15 sampai -19)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times (0,5 \times (p'_{0-3} + p'_{3-7}))$$

$$Q_s = 12,56 \times 1,019 \times (0,5 \times (25,02 + 60,38))$$

$$Q_s = 546,529 \text{ kN}$$

- 3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-19 sampai -20)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 3,14 \times 1,019 \times 60,38$$

$$Q_s = 193,205 \text{ kN}$$

- 4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-20 sampai -29)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 28,26 \times 1,002 \times 60,38$$

$$Q_s = 1710,805 \text{ kN}$$

- 5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 m (-29 sampai -32)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,189 \times 60,38$$

$$Q_s = 676,776 \text{ kN}$$

- 6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 m (-32 sampai -35)

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$Q_s = \Sigma A_s \times K_d \times \text{tg } \delta \times p'_{3-7}$$

$$Q_s = 9,42 \times 1,261 \times 60,38$$

$$Q_s = 717,746 \text{ kN}$$

Cek terhadap tahanan gesek ultimit maksimum

$$f_s = K_d \times \text{tg } \delta \times \bar{P}_0$$

$$f_s = 1,261 \times 60,38$$

$$f_s = 76,193 \text{ kN/m}^2 \leq 107 \text{ kN/m}^2$$

Perhitungan diatas diperoleh total tahanan gesek ultimit (ΣQ_s) sebesar 3925,067 kN. Untuk variasi jarak 4D dan 5D dapat hasil tahanan gesek ultimit yang sama karena tidak dipengaruhi oleh jarak antar tiang.

3. Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal

a. Efisiensi kelompok tiang bor (E_g)

Perhitungan efisiensi kelompok tiang bor (E_g) menggunakan rumus *converst – labarre* yang dapat dilihat pada persamaan 3.23. Berikut contoh perhitungan efisiensi kelompok tiang bor pada variasi 2,5D. Untuk nilai efisiensi kelompok tiang (E_g) pada variasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 5.11.

$$E_g = 1 - Q \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 m n}$$

$$E_g = 1 - \left(\text{arc tg } \frac{1}{2,5} \right) x \frac{(2-2)2+(2-1)2}{90 x 2 x 2}$$

$$E_g = 0,757$$

b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang bor dilakukan menggunakan Persamaan 3.20 dan Persamaan 3.21.

$$W_p = \frac{1}{4} x \pi x d^2 x L x \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} x \pi x 1^2 x 23 x 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} x \pi x d^2 x (L - H_w) x \gamma_w$$

$$U = \frac{1}{4} x \pi x 1^2 x (23 - 0) x 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$W_p' = 433,32 - 177,119$$

$$W_p' = 256,205$$

c. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.19 dan perhitungan faktor aman menggunakan persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p'$$

$$Q_u = 7820,72 + 3925,067 - 256,2005$$

$$Q_u = 11489,59 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{11489,59}{2,5}$$

$$Q_{all} = 4595,835 \text{ kN}$$

4) Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Perhitungan kapasitas kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dilakukan menggunakan persamaan 3.38. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal pada variasi ajrak 2,5D.

$$Q_g = Q_{all} \times n \times E_g$$

$$Q_g = 4595,835 \times 4 \times 0,750$$

$$Q_g = 13930,2 \text{ kN}$$

Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dapat dilihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
2,5D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,75	4595,8	13930,2	aman

Lanjutan Tabel 5.11 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
4D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,84	4595,8	15516,3	aman
5D	256,2	7820,7	3925	11489,6	0,87	4595,8	16073,2	aman

4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang (s/d), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

a. Variasi jarak 2,5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$$

b. Variasi jarak 4D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$$

c. Variasi jarak 5D

1. Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

2. Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok. Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geometri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada tabel 5.3

- a. Mencari luas ujung tiang (
- A_p
-)

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

- b. Mencari luas selimut tiang (
- A_s
-)

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

- c. Mencari nilai tekanan
- overburden*
- tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan overburden tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan overburden untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal.

d. Perhitungan tahanan gesek tiang

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 12,51$$

$$Q_s = 25,12 \text{ kN}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 7 m (-19)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 42,7$$

$$Q_s = 179,03 \text{ kN}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 60,38$$

$$Q_s = 153,166 \text{ kN}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 (-29)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 60,38$$

$$Q_s = 246,08 \text{ kN}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 60,38$$

$$Q_s = 329,94 \text{ kN}$$

6) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times K_d \times \delta \times P_o'$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 60,38$$

$$Q_s = 363,748 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi perhitungan tahanan gesek tiang bor

variasi jarak (s)	z (m)	As (m ²)	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5	3	14	25,12	1397,1
	7	14	179,036	
	8	14	253,16	
	17	14	246,08	
	20	14	329,94	
	23	14	364,748	
4	3	20	35,893	1995,86
	7	20	255,765	
	8	20	361,666	
	17	20	351,546	
	20	20	471,34	
	23	20	519,64	
5	3	24	43,07	2395,03
	7	24	306,918	
	8	24	433,99	
	17	24	421,855	
	20	24	565,612	
	23	24	623,56	

e. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (qp)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Qp) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dan didapatkan hasil Qp sebesar 7820,72 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / SF$$

$$q_p = \frac{7820,7}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 3985,08 \text{ kN/m}^2$$

- a. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas (f_s)

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d) + \Delta L + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d \times \Delta L} / SF$$

$$f_s = \frac{1397,099}{\pi \times 1 \times 23} / 2,5$$

$$f_s = 8,920 \text{ kN/m}^2$$

- b. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-labarre* pada Persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor (E_g) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada tabel 5.11.

- c. Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = L_g \times B_g \times q_p + (\Sigma 2 \times (L_g + B_g) \times \Delta L \times f_s)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 2,5 \times 2,5 \times 3986,08 + (\Sigma 2 \times (2,5 + 2,5) \times 23 \times 8,920)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 26958,43 \text{ kN}$$

- d. Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

$$Q_{ug} = 26958,43 \times 0,757$$

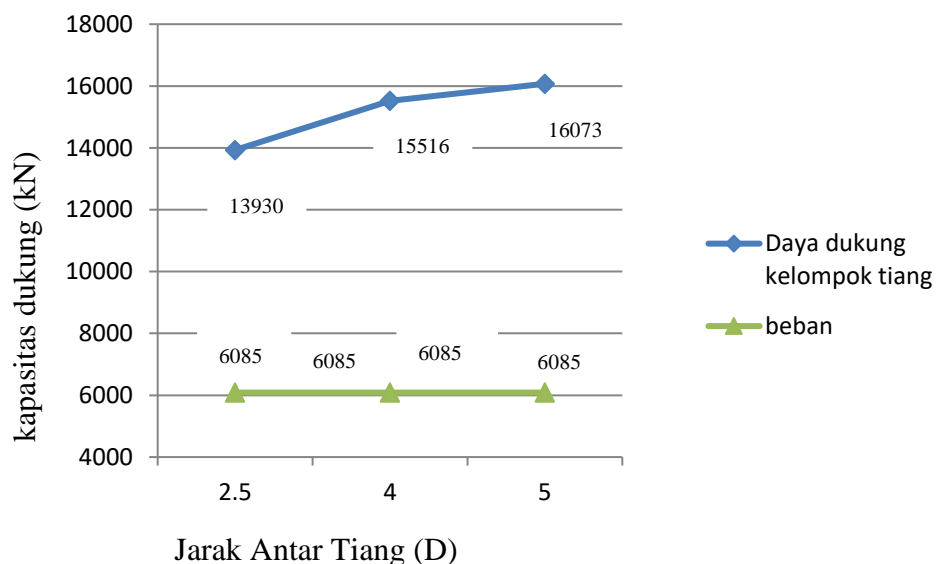
$$Q_{ug} = 20428,08 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapsitas dukung

kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Gambar 5. 8.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Berdasarkan Keruntuhan Blok

variasi jarak (s)	Nilai		perbandingan	Digunakan	Ket
2,5D	Qg(kN)	13930,2	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	38879,9			
4D	Qg(kN)	15516,3	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	88381,2			
5D	Qg(kN)	16073,2	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(kN)	131837			



Gambar 5.8 Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung ijin kelompok tiang bor dengan metode *Brom*

5.3.4 Analisis Data dengan Metode *Poulos dan Davis*

1. Tahanan ujung ultimit

a. Mencari nilai ϕ'

Untuk penentuan N_q dan z_c/d nilai sudut gesek tanah asli (ϕ) untuk tiang bor direduksi dengan menggunakan Persamaan 3.30.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 25 - 3^\circ$$

$$\phi' = 22^\circ$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 36 - 3^\circ$$

$$\phi' = 33^\circ$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 35,5 - 3^\circ$$

$$\phi' = 21,5^\circ$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 41 - 3^\circ$$

$$\phi' = 38^\circ$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

$$\phi' = 43 - 3^\circ$$

$$\phi' = 40^\circ$$

b. Mencari nilai tekanan *overburden*

Nilai z_c/d didapat dari Gambar 3.6 hubungan z_c/d dengan ϕ' . Setelah didapat nilai z_c/d kemudian dilakukan perhitungan kedalaman kritis untuk tiap lapisan tanah.

1) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 5 \times 1$$

$$z_c = 5 \text{ m}$$

2) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 6 \times 1$$

$$z_c = 6 \text{ m}$$

3) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 5,9 \times 1$$

$$z_c = 5,9 \text{ m}$$

4) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 8,3 \times 1$$

$$z_c = 8,3 \text{ m}$$

5) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$z_c = \frac{z_c}{d} \times d$$

$$z_c = 14,1 \times 1$$

$$z_c = 14,1 \text{ m}$$

Nilai z_c/d untuk perhitungan tekanan *overburden* digunakan kedalaman kritis sebesar 8,3 m.

c. Luas selimut tiang (A_s)

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$A_s = \pi \times d \times H$$

$$A_s = \pi \times 1 \times 3$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$A_s = \pi \times d \times (H_2 - H_1)$$

$$A_s = \pi \times 1 \times (8 - 3)$$

$$A_s = 15,7 \text{ m}$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$A_s = \pi \times d \times x \text{ (H3-H2)}$$

$$A_s = \pi \times 1 \times x \text{ (17-8)}$$

$$A_s = 28,26 \text{ m}$$

4. Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$A_s = \pi \times d \times x \text{ (H4-H3)}$$

$$A_s = \pi \times 1 \times x \text{ (20-17)}$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

5. Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$A_s = \pi \times d \times x \text{ (H5-H4)}$$

$$A_s = \pi \times 1 \times x \text{ (23-20)}$$

$$A_s = 9,42 \text{ m}$$

- d. Perhitungan tekanan *overbudren*

Perhitungan tekanan *overdurden* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.14.

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$P'_{0-3} = (\gamma_t - \gamma_w) \times H$$

$$P'_{0-3} = (18,15 - 9,81) \times 3$$

$$P'_{0-3} = 25,02 \text{ kN/m}^2$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$P'_{3-8} = (\gamma_t - \gamma_w) \times (H_2 - H_1) + P'_{0-3}$$

$$P'_{3-8} = (18,65 - 9,81) \times (8 - 3) + 25,02$$

$$P'_{3-8} = 69,22 \text{ kN/m}^2$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 8,3 m (-20,3)

$$P'_{8-8,3} = (\gamma_t - \gamma_w) \times (H_3 - H_2) + P'_{3-8}$$

$$P'_{8-8,3} = (19 - 9,81) \times (8,3 - 8) + 69,22$$

$$P'_{3-8} = 71,977 \text{ kN/m}^2$$

Berdasarkan Gambar 3.5 tekanan *overburden* bertambah sampai kedalaman kritis (z_c) kemudian untuk kedalaman dibawah z_c nilai

overburden efektifnya konstan (yaitu sama dengan tekanan *overburden* efektif pada kedalaman z_c).

e. Perhitungan tahanan ujung ultimit

Perhitungan tahanan ujung ultimit dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.28. Nilai N_q diperoleh dari perbandingan ϕ dan N_q pada Gambar 3.4. Besarnya nilai N_q yang digunakan adalah 148

$$Q_b = A_b \times P'_b \times N_q$$

$$Q_b = 0,785 \times 71,977 \times 148$$

$$Q_b = 8362,288 \text{ kN}$$

Cek terhadap batasan tahanan ujung per satuan luas maksimum menggunakan Persamaan 3.29

$$f_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

$$f_b = \frac{8362,288}{0,785}$$

$$f_b = 10652,6 \text{ kN/m}^2 \leq 10700 \text{ kN/m}^2$$

Untuk tahanan ujung ultimit untuk variasi jarak 4D, dan 5D diperoleh hasil yang sama karena jarak tiang (s) tidak berpengaruh untuk perhitungan tahanan ujung ultimit.

2. Tahanan gesek ultimit

Perhitungan tahanan gesek ultimit dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.31

1. Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 25,02 \times 0,15$$

$$Q_s = 35,353 \text{ kN}$$

2. Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \text{ tg } \delta$$

$$Q_s = 15,7 \times 69,22 \times 0,21$$

$$Q_s = 228,218 \text{ kN}$$

3. Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \times \text{tg } \delta$$

$$Q_s = 28,26 \times 71,977 \times 0,2$$

$$Q_s = 406,814 \text{ kN}$$

4. Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \times \text{tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 71,977 \times 0,4$$

$$Q_s = 271,209 \text{ kN}$$

5. Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times P'_o \times k_d \times \text{tg } \delta$$

$$Q_s = 9,42 \times 71,977 \times 0,4$$

$$Q_s = 271,209 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek ultimit tiap variasi jarak 4D, dan 5D diperoleh hasil yang sama, karena jarak tiang tidak berpengaruh dalam perhitungan tahanan gesek ultimit tiang. Rekapitulasi perhitungan tahanan gesek ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Ultimit

z (m)	φ	Kd tg δ	As (m ²)	Po' (kN/m ²)	Qs (kN)	ΔQ_s (kN)
3	25	0,25	9,42	25,02	35,353	1212,804
8	36	0,21	15,7	69,22	228,218	
17	35,5	0,2	28,26	71,977	406,814	
20	41	0,4	9,42	71,977	271,209	
23	43	0,4	9,42	71,977	271,209	

3. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

a. Efisiensi kelompok tiang bor (Eg)

Perhitungan efisiensi tiang bor (Eg) dilakukan dengan cara yang sama seperti metode Reese & O'neil dan Brom sehingga didapatkan hasil yang sama.

b. Perhitungan berat efektif tiang bor

Perhitungan berat efektif tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.20 dan persamaan 3.21.

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times L \times \gamma_{\text{beton}}$$

$$W_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times 23 \times 24$$

$$W_p = 433,32 \text{ kN}$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times (L - H_w) \times \gamma_w$$

$$U = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2 \times (23 - 0) \times 9,81$$

$$U = 177,119 \text{ kN}$$

$$W_p' = W_p - U$$

$$W_p' = 433,32 - 177,119$$

$$W_p' = 256,2005$$

d. Kapasitas dukung tiang bor

Perhitungan kapasitas dukung tiang bor dilakukan menggunakan persamaan 3.19 dan perhitungan faktor aman menggunakan persamaan 3.9.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p'$$

$$Q_u = 8362,288 + 1212,804 - 256,2005$$

$$Q_u = 9318,892 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_u}{\text{SF}}$$

$$Q_{\text{all}} = \frac{9318,892}{2,5}$$

$$Q_{\text{all}} = 3727,557 \text{ kN}$$

5) Kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal

Perhitungan kapasitas kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal dilakukan menggunakan persamaan 3.38. berikut contoh perhitungan Q_g pada variasi jarak (s) 2,5D

$$Q_g = Q_{\text{all}} \times n \times E_g$$

$$Q_g = 3727,557 \times 4 \times 0,75$$

$$Q_g = 11298,4$$

Rekapitulasi perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal pada variasi 4D dan 5D dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Rekapitulasi Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang berdasarkan Keruntuhan Tunggal

Variasi jarak (s)	Wp' (kN)	Qb (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Eg	Qall (kN)	Qg (kN)	KET
2,5D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,75	3727,5	11298,4	aman
4D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,84	3727,5	12584,5	aman
5D	256,2	8362,2	1212,8	9318,8	0,87	3727,5	13036,5	aman

4. Kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok terlebih dahulu dilakukan pengecekan rasio perbandingan jarak antar tiang dan diameter tiang (s/d), dan jarak kritis. Pengecekan dilakukan untuk menentukan apakah kapasitas tiang bor yang terjadi adalah kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan tiang tunggal atau kapasitas dukung tiang berdasarkan keruntuhan blok. Pada penelitian ini dilakukan 3 variasi jarak yaitu : 2,5D, 4D, 5D.

a. Variasi jarak 2,5D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{2,5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 2,5 < \pm 2$$

2) Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 2,5 \text{ m}$$

b. Variasi jarak 4D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{4}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 4 < \pm 2$$

2) Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 4 \text{ m}$$

c. Variasi jarak 5D

1) Rasio perbandingan jarak antar tiang dengan diameter tiang

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = \frac{5}{1}$$

$$\text{Rasio } \frac{s}{d} = 5 < \pm 2$$

2) Jarak kritis

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5d$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 \times 1$$

$$\text{Jarak kritis tiang } 3 \times 3 = 1,5 < 5 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan tiang tunggal dan tidak perlu dilakukan analisis kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok. Namun, perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok sangat penting, maka tetap dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada setiap variasi jarak (s). berikut contoh perhitungan kapasitas dukung tiang bor berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 2,5D. Gambar geomteri struktur dan data parameter tanah dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.3.

d. Mencari luas ujung tiang (A_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times 1^2$$

$$A_p = 0,785 \text{ m}^2$$

e. Mencari luas selimut tiang (A_s)

$$A_s = \sum 2 \times (L_g \times B_g)$$

$$A_s = 2 \times (3,5 \times 3,5)$$

$$A_s = 14 \text{ m}^2$$

f. Mencari nilai tekanan *overburden* tiap lapisan tanah

Untuk perhitungan *overburden* tiap lapisan tanah dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan *overburden* untuk kapasitas dukung kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tiang tunggal.

g. Perhitungan tahanan gesek tiang

6) Lapisan tanah dengan kedalaman 3 m (-12 sampai -15)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,143 \times 25,02$$

$$Q_s = 50,251 \text{ kN}$$

7) Lapisan tanah dengan kedalaman 8 m (-20)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,299 \times 69,22$$

$$Q_s = 290,231 \text{ kN}$$

8) Lapisan tanah dengan kedalaman 17 m (-29)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,291 \times 71,977$$

$$Q_s = 293,346 \text{ kN}$$

9) Lapisan tanah dengan kedalaman 20 (-32)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,390 \times 71,977$$

$$Q_s = 393,31 \text{ kN}$$

10) Lapisan tanah dengan kedalaman 23 (-35)

$$Q_s = A_s \times k_d \times \text{tg } \delta \times P'_o$$

$$Q_s = 14 \times 0,430 \times 71,97$$

$$Q_s = 433,612 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan tahanan gesek tiang pada variasi jarak (s) 4D dan 5D dengan menggunakan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan tahanan gesek tiang untuk masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Perhitungan Tahanan Gesek Tiang Bor

variasi jarak (s)	z (m)	AS (m ²)	Qs (kN)	Qs total (kN)
2,5D	3	14	50,251	1460,7
	8	14	290,231	
	17	14	293,346	
	20	14	393,31	
	23	14	433,612	
5D	3	24	86,14	2504,14
	8	24	497,53	
	17	24	502,87	
	20	24	674,24	
	23	24	743,33	
4D	3	20	71,787	2086,78
	8	20	414,61	
	17	20	419,06	
	20	20	561,87	
	23	20	619,066	

h. Perhitungan tahanan ujung persatuan luas tiang (qp)

Untuk perhitungan tahanan ujung ultimit (Qp) berdasarkan keruntuhan blok menggunakan cara yang sama pada perhitungan tahanan ujung ultimit berdasarkan keruntuhan tiang tunggal dan didapatkan hasil Qp sebesar 8362,28 kN.

$$Q_p = A_p \times q_p$$

$$q_p = \frac{Q_p}{A_p} / SF$$

$$q_p = \frac{8362,28}{0,785} / 2,5$$

$$q_p = 4261,038 \text{ kN/m}^2$$

- i. Perhitungan tahanan gesek persatuan luas (f_s)

$$Q_s = p + \Delta L + f_s$$

$$Q_s = (\pi \times d) + \Delta L + f_s$$

$$f_s = \frac{Q_s}{\pi \times d + \Delta L} / SF$$

$$f_s = \frac{1460,75}{\pi \times 1 + 23} / 2,5$$

$$f_s = 8,09 \text{ kN/m}^2$$

- j. Efisiensi kelompok tiang bor

Untuk perhitungan efisiensi kelompok tiang bor dilakukan dengan menggunakan cara yang sama seperti perhitungan efisiensi kelompok tiang bor berdasarkan keruntuhan tunggal, yaitu menggunakan rumus *converst-labarre* pada persamaan 3.23. nilai efisiensi kelompok tiang bor (E_g) untuk variasi jarak 2,5D, 4D, dan 5D dapat dilihat pada Tabel 5.15.

- k. Perhitungan nilai kapasitas dukung ultimit tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$\Sigma Q_{ult} = L_g \times B_g \times q_p + (\Sigma 2 \times (L_g + B_g) \times \Delta L \times f_s)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 3,5 \times 3,5 \times 4261,03 + (\Sigma 2 \times (3,5 + 3,5) \times 23 \times 8,09)$$

$$\Sigma Q_{ult} = 54802,88 \text{ kN}$$

- l. Perhitungan nilai kapasitas tiang berdasarkan keruntuhan blok

$$Q_{ug} = \Sigma Q_{ult} \times E_g$$

$$Q_{ug} = 54802,88 \times 0,757$$

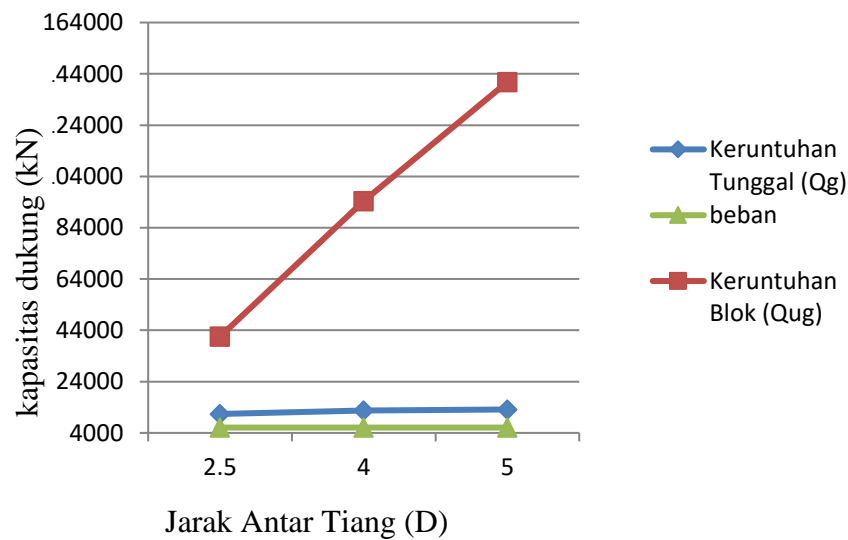
$$Q_{ug} = 41527,55 \text{ kN}$$

Untuk perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok pada variasi jarak 4D, dan 5D dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Setelah didapatkan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok kemudian dibandingkan hasil kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dengan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok. Kapasitas dukung kelompok tiang yang digunakan adalah kapasitas kelompok tiang terkecil. Rekapitulasi

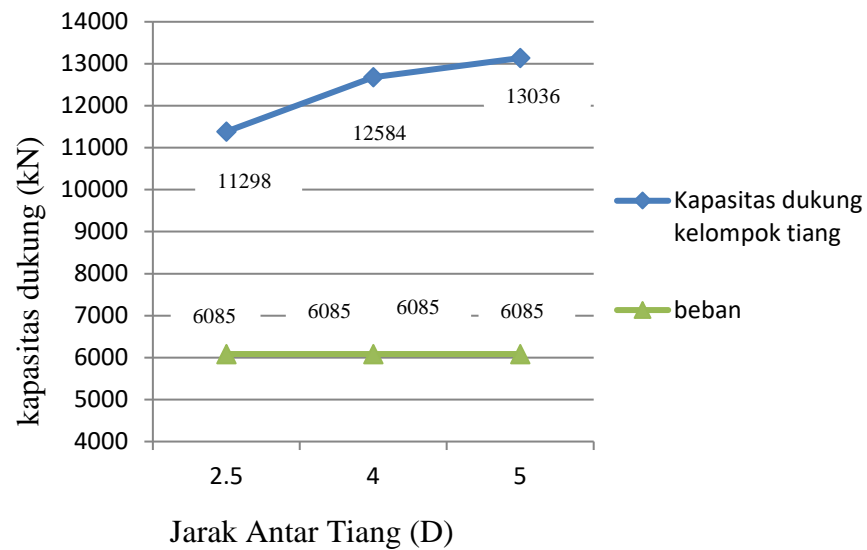
hasil perhitungan dan perbandingan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan tunggal dan kapasitas dukung kelompok tiang berdasarkan keruntuhan blok dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.9. Hasil kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan metode Poulus & Davis dapat dilihat pada Gambar 5.10.

Tabel 5.17 Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor

variasi (s)	Nilai		perbandingan	Digunakan	Ket
2,5D	Qg(Kn)	11298,4	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	41527,55			
4D	Qg(Kn)	12584,85	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	94399,84			
5D	Qg(Kn)	13036,52	Qug > Qg	Qg	aman
	Qug(Kn)	140814,5			



Gambar 5.9 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Tunggal (Qg) dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Keruntuhan Blok (Qug)



Gambar 5.10 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Bor dengan Metode Poulos dan Davis

5.3.5 Analisis Data dengan Menggunakan PLAXIS V8.6

Analisis menggunakan PLAXIS V8.6 merupakan simulasi pembebanan pondasi tiang sesuai dengan keadaan dilapangan. Dalam analisis daya dukung pondasi tiang kelompok, dilakukan beberapa variasi jarak (s) yaitu 2,5D, 4D dan 5D dengan panjang tiang 23 m dan dibebani oleh kolom di atasnya sebesar 6084.74 kN.

Parameter tanah serta geometri struktur yang digunakan pada analisis dengan menggunakan PLAXIS 2D dapat dilihat pada Tabel 5.18 Dan Gambar 5.8.

Tabel 5.18 Parameter Tanah

Identifikasi tanah	Lanau kepasiran	lanau kepasiran	Pasir	pasir sedikit lempung	pasir kasar
Model material	MC	MC	MC	MC	MC
Jenis material	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Yunsat (Kn/m^3)	17,06	18,34	17,97	20,25	22,53

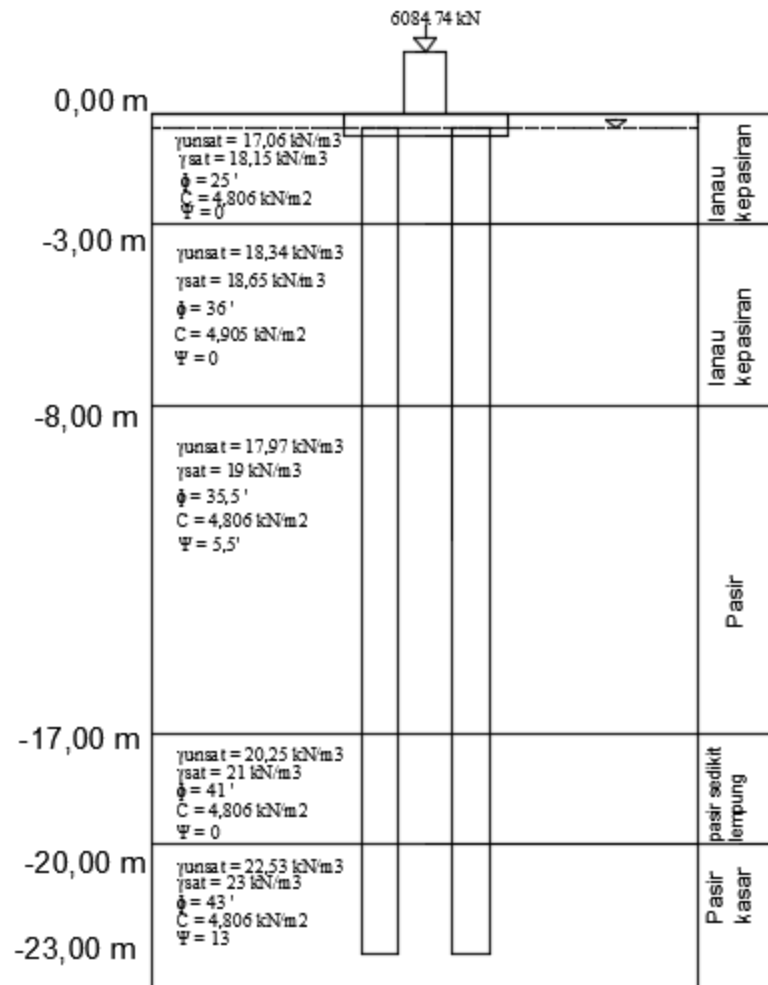
Lanjutan Tabel 5.18 Parameter Tanah

Identifikasi tanah	Lanau kepasiran	lanau kepasiran	Pasir	pasir sedikit lempung	pasir kasar
γ_{sat} (Kn/m ³)	18,15	18,65	19	21	23
K_x (m/hari)	0,1	0,1	1	0,01	1
K_y (m/hari)	0,1	0,1	1	0,01	1
E (Kn/m ²)	21448	22214	29108	36002	41364
V	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1
C (Kn/m ³)	4,806	4,905	4,806	4,806	4,806
ϕ (deegre)	25	36	35,5	41	43
Ψ (deegre)	0	0	5,5	0	13

Berikut ini langkah-langkah untuk analisis menggunakan PLAXIS V8.6 sebagai berikut.

1. Permodelan Geometri Struktur

Permodelan struktur pada pondasi ini berupa konfigurasi tiang dan jarak antar tiang dapat dilihat pada gambar 5.4. Data geometri tanah yang digunakan untuk permodelan struktur merupakan pengujian *borehole* pada titik BH 1 sama seperti perhitungan dengan metode manual yang dapat dilihat pada Tabel 5.18. Permodelan struktur pondasi dan *pile cap* digunakan model material pelat, kemudian digambarkan pada *node* yang telah ditentukan. Penggambaran pondasi pada studi kasus ini sampai kedalaman 23m, sedangkan untuk pembebanan digunakan beban terpusat. Beban terpusat diletakkan diatas *pile cap* pada pusat bidang. Berikut adalah contoh model struktur variasi muka air tanah dengan kedalaman 0,20m yang dapat dilihat pada gambar 5.11.



Gambar 5.11 Geometri Struktur dan Lapisan Tanah pada Titik BH 1

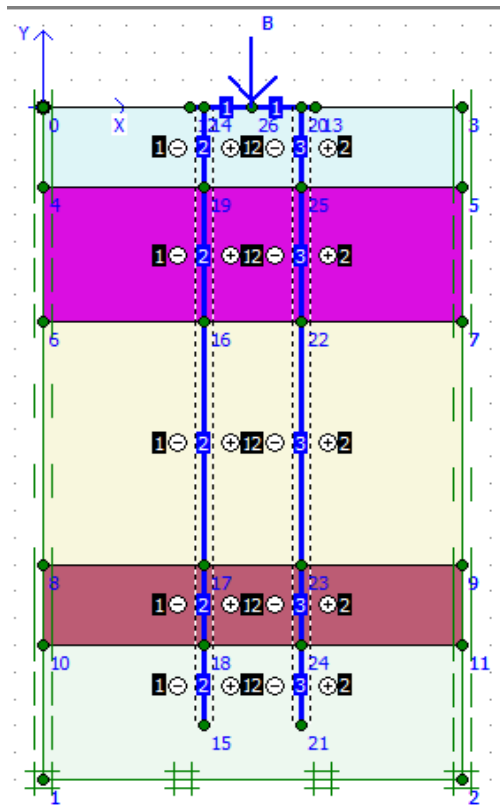
Jenis metral yang digunakan pada analisis ini yaitu model *Mohr-Coulomb*, dan parameter-parameter tanah yang akan digunakan pada program ini antara lain : berat isi jenuh dan berat isi tak jenuh (γ_{sat} dan γ_{unsat}), permeabilitas (k_x dan k_y), modulus elastisitas (E), angka poisson (ν), kohesi (c), dan sudut gesr (ϕ). Untuk modulus elastisitas tanah dan *poisson ratio* didapat dari Persamaan 3.6 dan Tabel 3.3.

2. Input data material yang digunakan

a. Model geometri

Analisa pondasi dapat dilakukan dengan menggunakan model regangan bidang (*plane strain*) dengan titik 15 nodal. Regangan bidang digunakan

untuk penampang geometri dengan penampang melintang yang kurang lebih seragam dengan kondisi tegangan dan kondisi beban yang cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang tersebut (arah z). Satuan dasar yang digunakan untuk panjang, gaya, dan waktu adalah m, kN, dan hari. Pada permodelan studi kasus ini geometri struktur tanah memiliki perbedaan pada variasi jarak antar tiang (s) . Sebelum dilakukan permodelan pada *software* PLAXIS 2D terlebih dahulu dilakukan konversi bentuk pondasi dan *pilecap* kedalam bentuk 2 dimensi. Konversi dilakukann dengan mencari nilai diameter dan luasan pondasi baru. Kemudian setelah konversi selesai dilakukan barulah permodelan pondasi pada *software* PLAXIS 2D dapat dilakukan. Contoh permodelan geometri pondasi yang telah dikonversi dalam bentuk dua dimensi pada PLAXIS 2D dapat dilihat pada Gambar 5.12. untuk tampilan geometri lainnya dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 5.12 Geometri Struktur pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D

b. Kondisi Batas

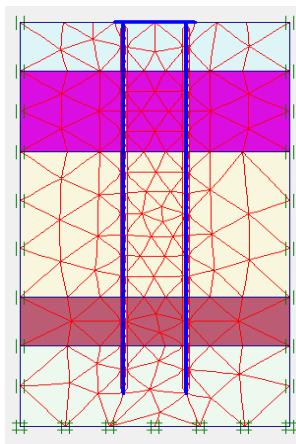
Selanjutnya membentuk kondisi batas, yaitu dengan mengklik tombol yang bersangkutan pada *toolbar* atau melalui *sub menu* beban. PLAXIS ada menerapkan kondisi batas umum pada model secara otomatis.

c. *Input* material yang digunakan

Data yang digunakan untuk material tanah dan juga struktur pondasi pada PLAXIS 2D dapat dilihat pada Tabel 5.18. *input* material tanah dan struktur pondasi dilakukan dengan cara menarik material tanah atau struktur yang digunakan sampai ke profil struktur atau kluster.

d. Penyusunan jaringan elemen

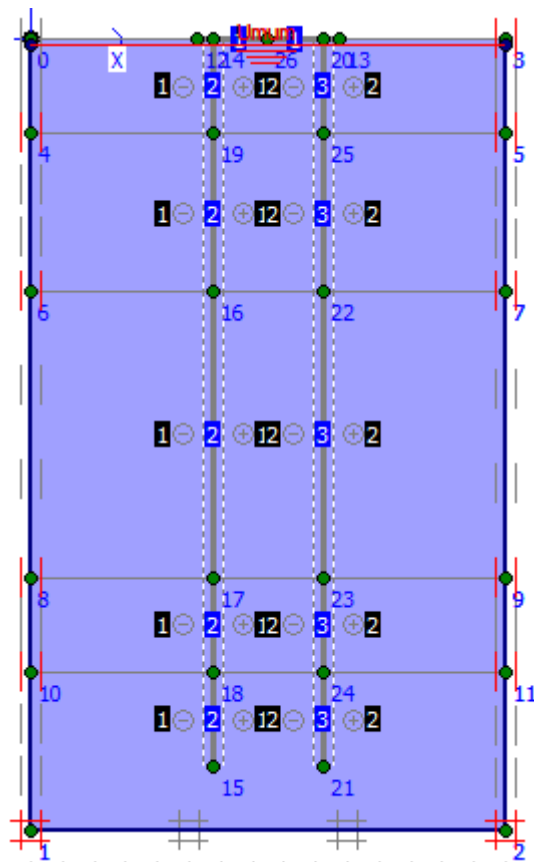
Setelah model geometri telah didefinisikan secara lengkap dan sifat material telah dimasukkan keseluruhan struktural dan kluster, maka geometri harus dibagi menjadi elemen-elemen untuk melakukan perhitungan elemen hingga. Penyusunan elemen hingga dilakukan dengan mengklik *generate mesh* pada *toolbar*, kemudian PLAXIS 2D akan secara otomatis membentuk jaringan elemen-elemen dan antar muka yang secara otomatis ditentukan agar tetap kompatibel dengan jenis elemen tanah. Contoh penyusunan jaringan elemen pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada gambar 5.13. untuk tampilan hasil penyusunan jaringan elemen pada variasi lain dapat dilihat pada lampiran 4.



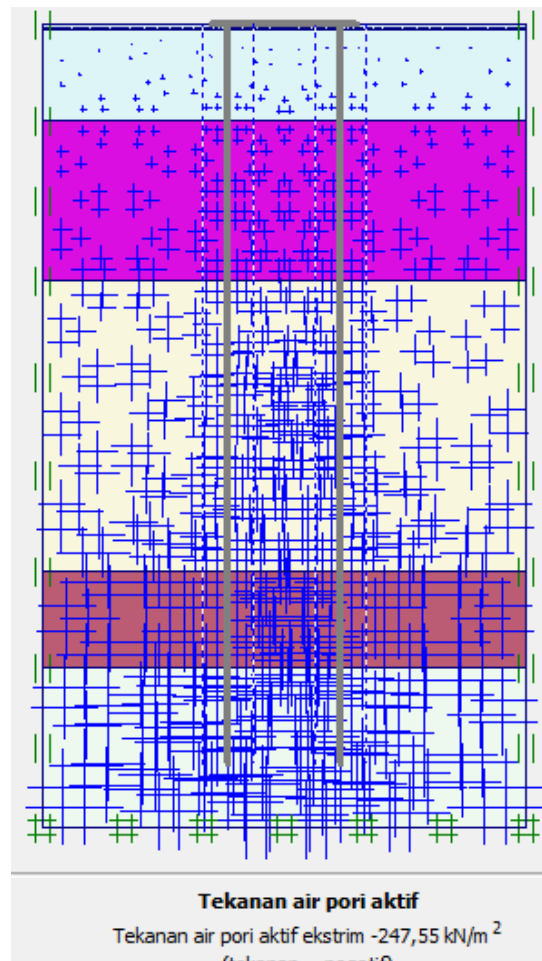
Gambar 5.13 Hasil Penyusunan Jaringan Elemen pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D

e. Kondisi awal

Dalam kondisi awal (*initial condition*) ditetapkan berat isi air sebesar 10 kN/m^3 . Tekanan air sepenuhnya adalah tekanan hidrostatik berdasarkan garis phreatic global. Kemudian menentukan posisi muka air, yang umumnya PLAXIS digunakan untuk analisis tegangan efektif dimana ada perbedaan yang jelas antara tekanan pori aktif dan tegangan efektif. Kemudian klik tombol hitung tekanan air (*generate water pressure*). Contoh gambar penentuan posisi muka air tanah serta perhitungan tekanan air tanah pada variasi 2,5D dengan kedalaman muka air tanah sedalam 0,2 m dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15. Untuk tampilan hasil perhitungan tekanan air tanah pada variasi model geometri lain dapat dilihat pada lampiran 4.



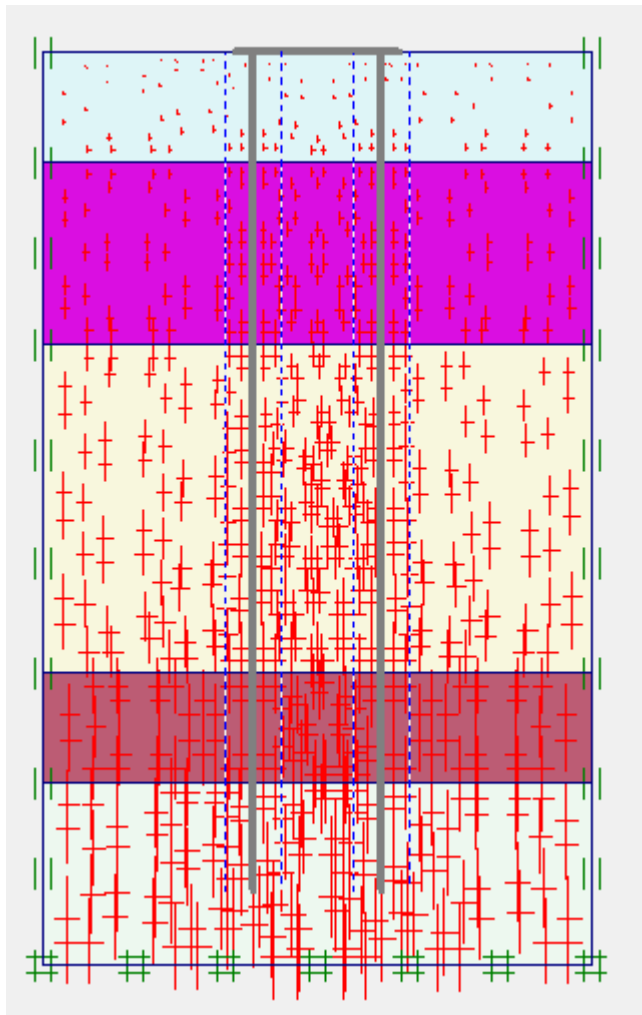
Gambar 5.14 Kondisi Awal dan Letak Muka Air Tanah Kedalaman 0,2 m pada Variasi Jarak 2,5D



Gambar 5.15 Tekanan Air Pori Kedalaman 0,2 m pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D

f. Tegangan awal

Setelah tekanan air pori diaktifkan, selanjutnya klik menu tekanan air pori awal (*initial poor preassures*) pada *toolbar* untuk mengetahui tegangan awal, perhitungan awal dari model elemen hingga telah selesai. Contoh gambar tegangan awal pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.16. untuk gambar tenganan awal pada variasi lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 5.16 Tegangan Awal pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D

3. Perhitungan

Perhitungan yang akan dilakukan terdiri dari empat tahap, yaitu tahap pemasangan pondasi, tahap pemasangan *pile cap*, tahap pembebanan, dan tahap mencari nilai angka keamanan. Berikut definisi dari tahapan perhitungan yang dilakukan.

a. Tahapan pemasangan pondasi

Pemasangan pondasi yaitu pada *tab general*, *loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan pondasi dengan cara mengklik tentukan (*define*) kemudian mengklik satu kali struktur pondasi hingga struktur pondasi berwarna.

b. Tahapan pemasangan *pile cap*

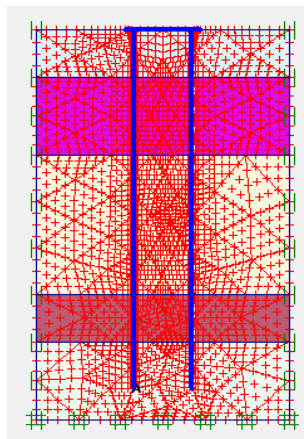
Pemasangan *pile cap*, yaitu pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan *pile cap* dengan cara mengklik tentukan (*define*) kemudian mengklik satu kali struktur *pile cap* hingga struktur *pile cap* berwarna.

c. Tahapan Pembebanan

Setelah dilakukan pemasangan pondasi dan *pile cap*, kemudian tahapan pembebanan yaitu, pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *stage construction* dengan jenis kalkulasi *plastic analysis*. Dalam lembar *tab parameter* dilakukan pengaktifan beban dengan cara mengklik tentukan (*define*) kemudian mengklik dua kali beban diatas *pile cap*, kemudian mengisi beban arah y sebesar -6085 kN. Beban akan aktif bila sudah berwarna biru.

d. Angka keamanan

Pada tahapan angka keamanan (SF) yaitu pada *tab general, loading input* yang digunakan ialah *phi/c reduction* dengan jenis kalkulasi *incremential multiplier*. Sebelum melakukan perhitungan, terlebih dahulu dilakukan pemilihan titik kurva yang berguna untuk mengetahui penurunan serta pembebanan yang terjadi . untuk penempatan titik kurva dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Titik Kurva

4. Output data

Setelah tahapan perhitungan selesai, maka hasil keluaran dapat dilihat pada program keluaran (*output*). Jendela keluaran akan menampilkan jaringan terdeformasi pada kondisi setelah pemasangan pondasi, *pile cap*, dan pembebanan dilakukan. Contoh gambar jaringan terdeformasi vertikal saat pemasangan pondasi, *pile cap*, dan pembebanan pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.20, Gambar 5.21, dan Gambar 5.22. Untuk gambar jaringan terdeformasi pada variasi lainnya dapat dilihat pada lampiran 4.

Hasil dari program keluaran (*output*) juga diperoleh besarnya angka keamanan dan penurunan yang terjadi terhadap beban yang terjadi. Contoh kurva penurunan dan beban pada model geometri pondasi pada variasi jarak 2,5D dapat dilihat pada Gambar 5.19. Untuk gambar kurva penurunan dan beban pada variasi lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut contoh perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor dengan menggunakan PLAXIS 2D pada variasi 2,5D. Berdasarkan hasil perhitungan PLAXIS 2D diperoleh nilai Σ -Msf pada geometri pondasi variasi jarak 2,5D yang dapat dilihat pada Gambar 5.18.

Peningkatan faktor pengali		Faktor pengali total	
Mdisp:	0,0000	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	0,0000	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	0,0000	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	0,0000	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	0,0000	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	2,9957

Gambar 5.18 Nilai Σ -Msf yang Diperoleh dari PLAXIS 2D

Dari nilai Σ -Msf yang diperoleh, dapat dilakukan perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor. Perhitungan kapasitas dukung ultimit, izin dan kelompok tiang bor pada PLAXIS 2D dapat dihitung dengan menggunakan

Persamaan 3.41, Persamaan 3.33, dan Persamaan 3.34. Berikut contoh perhitungan nilai kapasitas dukung kelompok tiang pada PLAXIS 2D pada variasi jarak 2,5D.

a. Kapasitas dukung ultimit tiang

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma - M_{sf}$$

$$Q_u = 6085 \times 2,99$$

$$Q_u = 18194,15 \text{ kN}$$

b. Kapasitas dukung izin tiang

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{7277,66}{2,5}$$

$$Q_{all} = 7131,62 \text{ kN}$$

c. Kapasitas dukung kelompok tiang bor

$$Q_g = E_g \times n \times Q_{all}$$

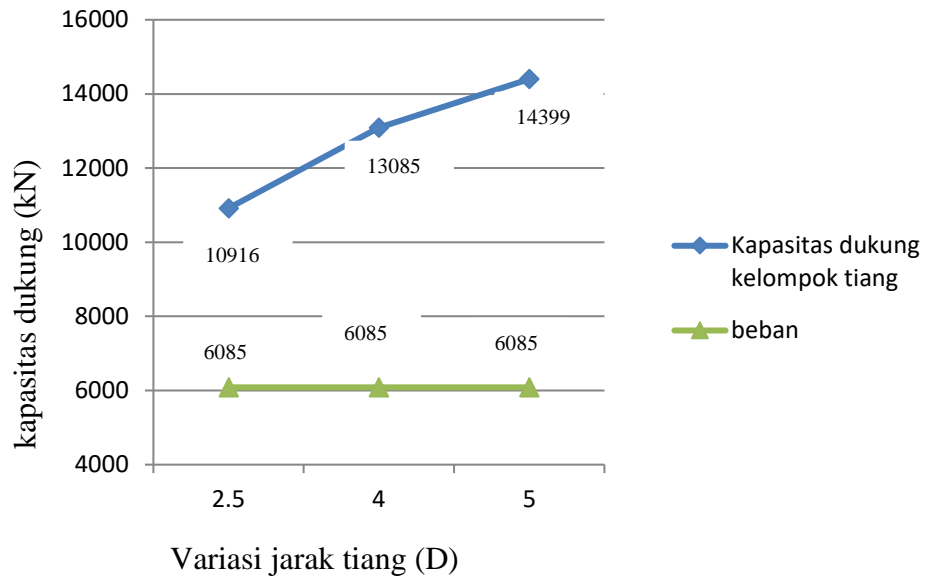
$$Q_g = 0,75 \times 2 \times 7131,62$$

$$Q_g = 10916,49 \text{ kN}$$

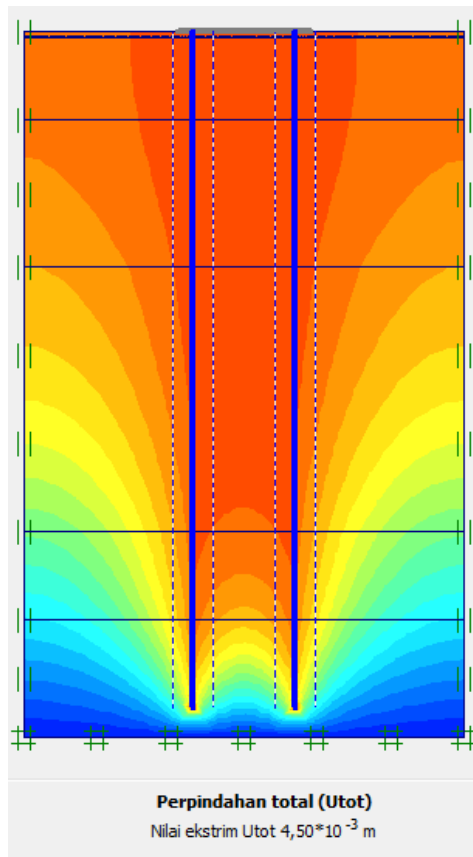
Perhitungan kapasitas dukung pada variasi jarak (s) 4D 5D dapat dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi hasil perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor tiap variasi jarak dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.19.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang dengan *software* PLAXIS 2D v8.6

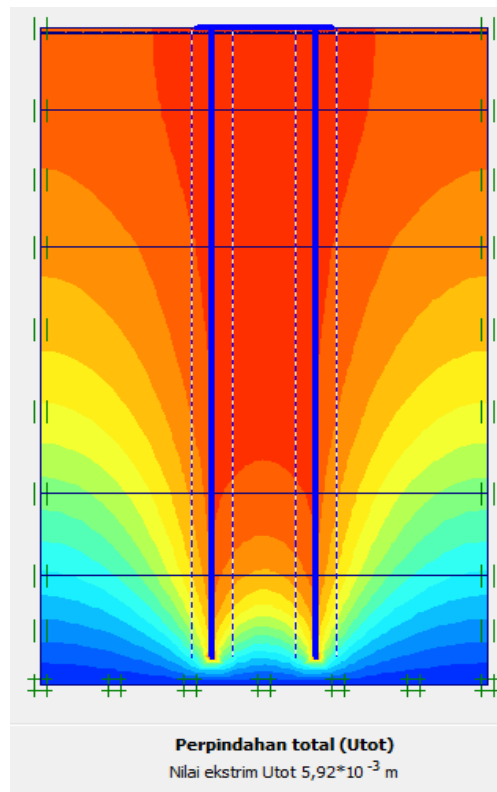
Variasi jarak (s)	Msf	Pall (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)	Eg	Qg (kN)
2,5 D	2,99	6085	18194,15	7277,66	0,75	10916,49
4 D	3,2	6085	19472	7788,8	0,84	13085,18
5 D	3,4	6085	20689	8275,6	0,87	14399,54



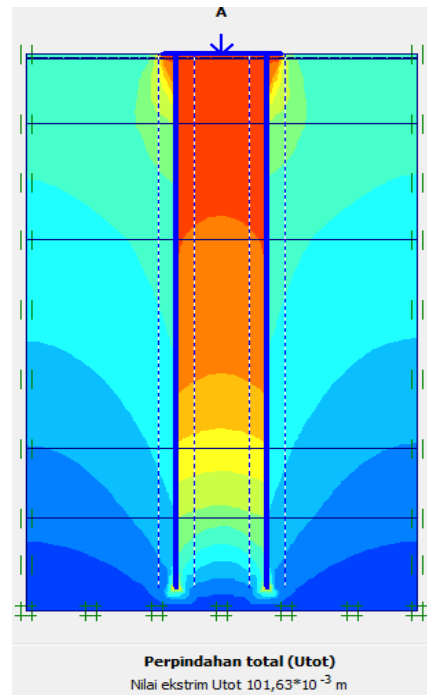
Tabel 5.19 Rekapitulasi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang dengan software PLAXIS 2D v8.6



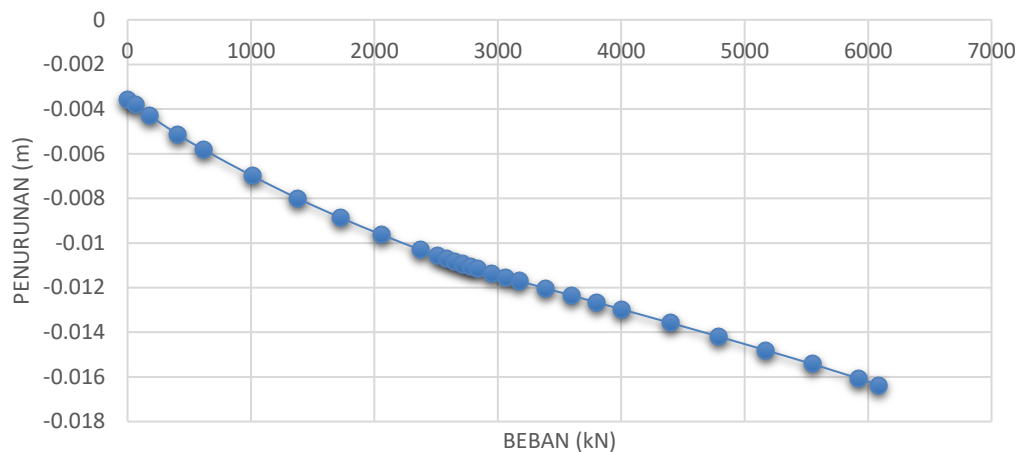
Gambar 5.20 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan Pondasi



Gambar 5.21 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pemasangan *Pilecap*



Gambar 5.22 Jaringan Elemen Terdeformasi Pada Tahap Pembebanan



Gambar 5.23 Kurva Displacement vs Loading PLAXIS 2D pada Variasi Jarak Tiang (s) 2,5D

Berdasarkan grafik penurunan dan beban pada PLAXIS 2D didapatkan total penurunan untuk variasi jarak 2,5D sebesar -0,016 m. Grafik beban dan penurunan untuk variasi jarak lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4. Rekapitulasi hasil penurunan pada tiap-tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Besarnya Penurunan Hasil Kalkulasi *software* PLAXIS 2D V8.6

Variasi Jarak (s)	penurunan (m)
2,5 D	-0,01637
4 D	-0,01556
5 D	-0,01499

Berdasarkan hasil rekapitulasi penurunan yang terjadi pada tiap-tiap variasi jarak diatas, dapat dilakukan pengecekan syarat penurunan yang diijinkan untuk pondasi tiang pada tanah pasir. Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan hasil penurunan pada PLAXIS 2D dengan nilai toleransi yang rekomendasikan oleh Reese & O'neil (1989) yaitu sebesar 5% dari diameter tiang.

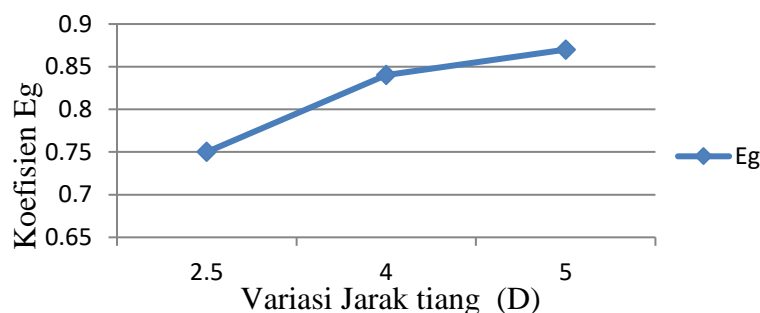
Dari hasil perbandingan dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi pada variasi 2,5D 4D, dan 5D aman atau dibawah dari 0,05 m dan penurnan semakin kecil dengan bertambahnya jarak antar tiang (s) akibat tanah disekitar tiang tidak terganggu oleh tiang lainnya.

5.4 Pembahasan

Dalam perencanaan suatu bangunan gedung tidak lepas dari perencanaan pondasi. Setiap pondasi dituntut untuk dapat mendukung beban sampai batas keamanan yang direncanakan, termasuk mendukung beban maksimum yang mungkin terjadi. Dalam analisis kapasitas dukung suatu pondasi, yang perlu diperhatikan adalah data penyelidikan tanah, beban yang dipikul oleh pondasi, dimensi tiang, jarak tiang, data material pondasi, kedalaman pondasi, dan besarnya penurunan yang terjadi.

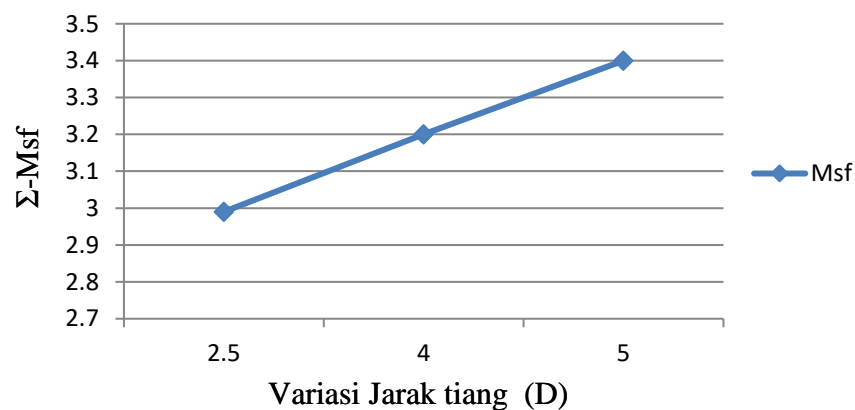
Gedung Swiss-Bell hotel Solo telah melakukan penyelidikan tanah di Lapangan dan Laboratorium guna menentukan stratigrafi dan sifat fisik tanah, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan perencanaan pondasi, pemeliharaan pondasi dan menghasilkan kapasitas dukung pondasi yang lebih akurat. Penyelidikan dilakukan sebanyak 3 titik dengan pengujian *standard Ppenetration Test* (SPT) menggunakan bor mesin dengan interval kedalaman 2 meter.

5.4.1 Pengaruh variasi jarak tiang (s) terhadap daya dukung kelompok tiang pondasi



Gambar 5.24 Faktor Efisiensi Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

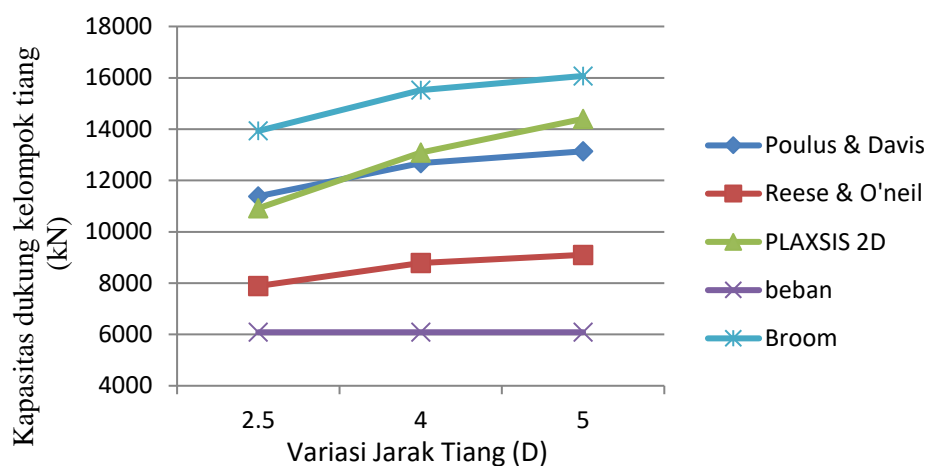
Dari grafik diatas, hasil diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan 3.23 dengan variasi jarak antar tiang (s) 2,5D, 4D, dan 5D. Dari gambar 5.24 terlihat besarnya faktor efisiensi kelompok tiang (E_g) bertambah seiring bertambahnya jarak antar tiang (s), hal ini disebabkan jika jarak antar tiang (s) besar maka mobilisasi tegangan yang terjadi pada tanah disekitar tiang tidak akan mempengaruhi tanah disekitar tiang lainnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.2, jika jarak antar tiang (s) dekat, maka *bulb preassure* (diagram tegangan) antar tiang akan berpotong sehingga kapasitas dukung kelompok tiang tidak dapat sepenuhnya 100% karena ada satu tegangan milik bersama sehingga adanya faktor efisiensi kelompok tiang. Kapasitas dukung kelompok tiang (Q_g) menjadi jumlah tiang dikalikan kapasitas dukung satu tiang dikalikan faktor efisiensi kelompok tiangnya. Begitu juga dengan hasil perhitungan kapasitas dukung dengan metode PLAXIS 2D, dimana nilai Σ -Msf yang diperoleh meningkat seiring bertambahnya jarak antar tiang (s). Nilai Σ -Msf dapat dilihat pada Gambar 5.25. Hasil analisis perhitungan pengaruh jarak antar tiang (s) terhadap daya dukung kelompok tiang dengan menggunakan metode *Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis*, dan PLAXIS 2D V8,6 dapat dilihat pada tabel 5.21.



Gambar 5.25 Peningkatan Nilai Σ -Msf Terhadap Variasi Jarak Tiang

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kapasitas Dukung Tiang Bor dengan Metode Manual dan PLAXIS

Variasi	Kapasitas dukung kelompok tiang (kN)			
	Reese & O'neil	Broom	Poulus & Davis	PLAXIS 2D
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)
2,5D	7888,922661	13930,197	11384,9475	10916,49
4D	8787,164013	15516,305	12681,25006	13085,184
5D	9102,532064	16073,179	13136,37541	14399,54



Gambar 5.26 Kapasitas Dukung Tiang Bor dengan Beberapa Metode

Dari tabel 5.21 terlihat analisis kapasitas dukung kelompok tiang dengan variasi jarak 2,5D, 4D dan 5D dengan menggunakan metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis*, dan *PLAXIS 2D* mengalami kenaikan kapasitas dukung kelompok tiang. Hal ini dapat disimpulkan, semakin besar jarak antar tiang (s) maka semakin besar kapasitas dukung kelompok tiang yang diperoleh.

5.4.2 Perbandingan Hasil Antara Analisis Metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis*, dan *PLAXIS 2D*

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perbedaan hasil metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis* serta *software PLAXIS 2D V8.6*. Rekapitulasi perbandingan hasil perhitungan kapasitas dukung kelompok tiang bor *software PLAXIS 2D V8.6* dengan metode *Reese & O'neil*, *Brom*, *Poulus & Davis* dapat

dilihat pada Tabel 22 dan Gambar 5.26. Sedangkan perbandingan metode teoritis dapat dilihat pada Tabel 5.23

Tabel 5.22 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Perhitungan PLAXIS 2d V8.6 dengan Metode Reese & O'neil, Brom, Poulus & Davis

Variasi jarak (s)	Kapasitas dukung kelompok tiang (kN)				selisih kapasitas dukung (%)		
	<i>Reese & O'neil</i>	<i>Brom</i>	<i>Poulus & Davis</i>	PLAXIS 2D	<i>Reese & O'neil</i>	<i>Brom</i>	<i>Poulus & Davis</i>
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)			
2,5D	7888,92	13930,19	11384,94	10916,49	27,7	-27,6	-4,3
4D	8787,16	15516,30	12681,25	13085,184	32,8	-18,6	3,1
5D	9102,53	16073,17	13136,37	14399,54	36,8	-11,6	8,8

Tabel 5.23 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Analisis Menggunakan Metode Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis

Variasi jarak (s)	Reese & O'neil	Brom	Poulus & Davis	selisih <i>Reese & O'neil</i> vs <i>Poulus & Davis</i> (%)	selisih <i>Reese & O'neil</i> vs <i>Brom</i> (%)	selisih <i>Brom</i> vs <i>Poulus & Davis</i> (%)
	Qg (kN)	Qg (kN)	Qg (kN)			
2,5D	7888,923	13930,2	11384,95	-44,316	-43,368	18,271
4D	8787,164	15516,3	12681,25	-44,316	-43,368	18,271
5D	9102,532	16073,18	13136,38	-44,316	-43,368	18,271

Selisih kapasitas dukung kelompok tiang antara PLAXIS dengan metode *Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* dapat dilihat pada tabel 5.22. Selisih kapasitas dukung terbesar antara *Reese & O'neil* dengan PLAXIS adalah pada perhitungan variasi jarak tiang 5D yaitu sebesar 36,8%. Untuk selisih kapasitas dukung PLAXIS dengan metode *Brom* adalah pada perhitungan variasi jarak tiang (s) 2,5D yaitu sebesar -27,6%. Sedangkan selisih kapasitas dukung kelompok tiang PLAXIS dengan metode *Poulus & Davis* yang terbesar adalah pada variasi jarak (s) 5D yaitu sebesar 8,8 %.

Perbedaan hasil analisis antara *software* PLAXIS 2D dengan metode manual yaitu *Reese & O'neil, Brom, dan Poulus & Davis* dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pada analisis menggunakan *software* PLAXIS dimasukkan nilai

permeabilitas tanah (k) yang diasumsikan sesuai dengan kondisi tanah dilapangan dimana akibat dari pembebanan akan menyebabkan air pori keluar sehingga tanah akan semakin rapat dan menyebabkan nilai permeabilitas tanah akan menurun. Berbeda pada analisis manual, pada analisis PLAXIS 2D juga dimasukkan parameter-parameter tanah yang sangat berpengaruh terhadap hasil kapasitas dukung kelompok tiang tetapi tidak dipakai pada analisis manual, seperti nilai angka *poisson* (ν), modulus young (E), dan juga sudut dilatasi (Ψ). Model material tanah yang digunakan pada PLAXIS 2D yaitu model material *Mhor-Coulumb*. Model material ini merupakan model material yang sangat sesuai untuk pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.

Kemudian perbandingan metode manual antara metode *Reese & O'neil*, *Brom*, dan *Poulus & Davis* dapat dilihat pada Tabel 5.23. Selisih perbedaan metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* adalah sebesar -43,36%, artinya hasil *Reese & O'neil* lebih kecil dari hasil perhitungan metode *Brom*. Sedangkan selisih perbedaan Metode *Reese & O'neil* dengan metode *Poulus & Davis* adalah sebesar -44,31%. Perbedaan yang besar antara metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* dan *Poulus & Davis* disebabkan oleh beberapa faktor.

Pada analisis dengan menggunakan metode *Reese & O'neil* pengaruh muka air tanah secara langsung dapat mengurangi kekuatan tahanan gesek tiang, yang disebabkan oleh adanya pengurangan nilai tekanan *overburden* ditengah-tengah lapisan tanah. Namun, nilai tekanan *overburden* akan bertambah seiring bertambahnya kedalaman tiang pada lapisan tanah. Sedangkan pada metode *Brom* dan *poulus & Davis* nilai tahanan gesek tiang juga akan mengalami penurunan akibat muka air tanah. Hal ini juga disebabkan karena berkurangnya nilai tekanan *overburden* pada tanah. Tetapi pada metode *Brom* dan *poulus & Davis* nilai tekanan *overburden* akan bernilai konstan apabila mencapai kedalaman kritis. Faktor lain yang menyebabkan terjadinya perbedaan hasil antara metode *Reese & O'neil* dengan metode *Brom* dan *Poulus & Davis* yaitu besarnya tahanan ujung tiang. Tahanan ujung tiang pada metode *Reese & O'neil* besarnya konstan, hal ini disebabkan oleh nilai tegangan serta dimensi tiang yang digunakan pada perhitungan tiap variasi jarak tiang (s) adalah sama. Pada perhitungan metode

Brom dan *poulos & Davis* nilai tahanan ujung tiang akan terus bertambah seiring bertambahnya kedalaman lapisan tanah. Penambahan nilai tahanan ujung dipengaruhi oleh bertambahnya tegangan tanah jika kedalaman tiang semakin dalam.

Kemudian perbedaan hasil metode *Brom* dengan metode *poulos & Davis* adalah sebesar 18,2%, artinya hasil metode *Brom* lebih besar dari metode *Poulos & Davis*. Sebenarnya persamaan yang digunakan dalam menentukan tahanan ujung dan tahanan gesek ultimit dari kedua metode ini sama. Perbedaannya disebabkan oleh penentuan nilai kedalaman kritis (z_c) dan nilai $k_d t g \delta$. Pada metode *Poulos & Davis* kedalaman kritis (z_c) ditentukan dari grafik hubungan z_c/d dengan ϕ (Gambar 3.6a) dan nilai $k_d t g \delta$ ditentukan dari grafik hubungan $k_d t g \delta$ dengan ϕ (Gambar 3.6c). Sedangkan pada metode *Brom* nilai z_c dipakai bebas dengan maksimum 20D kemudian tahanan ujung persatuan luas (f_b) dan tahanan gesek persatuan luas (f_s) tidak boleh melebihi maksimum, yaitu tahanan ujung persatuan luas sebesar 10700 kN/m^2 dan tahanan gesek persatuan luas (f_s) sebesar 107 kN/m^2 . Pada metode *Brom* dalam menentukan nilai $k_d t g \delta$ ditentukan dari pendekatan dari tabel k_d dan δ yang direkomendasikan oleh *Brom* (tabel 3.8 dan 3.9)