

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Analisis perencanaan kelompok fondasi dalam ini menggunakan bantuan program Ensoft 2016. Program Ensoft 2016 adalah alat yang digunakan untuk menganalisis kelompok tiang yang mengalami pemuatan aksial dan lateral. Program ini dikembangkan untuk menghitung distribusi beban (vertikal, lateral, dan momen terbalik hingga tiga sumbu ortogonal) yang diterapkan dari berbagai lokasi di *pile cap* hingga tiang yang disusun dalam kelompok. Program ini digunakan untuk menganalisis dan menghitung defleksi, momen lentur, dan gaya geser sepanjang tiang.

Sebelum melakukan analisis kelompok fondasi dalam terlebih dahulu dilakukan perhitungan kapasitas daya dukung tanah pada tiang pancang secara analitis dengan jenis tiang pancang *square pile* dan *spun pile*. Perhitungan kapasitas daya dukung tanah dengan jenis *square pile* dilakukan pada dua dimensi *square pile* yaitu *square pile* 300 x 300 dan *square pile* 400 x 400. Sementara untuk *spun pile* dilakukan perhitungan kapasitas daya dukung tanah dengan dimensi diameter 500. Untuk spesifikasi *pile* yang digunakan menggunakan acuan dari produk Wika dan JHS (brosur).

4.2. Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Secara Analitis

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang secara analitis dengan menggunakan data SPT (*Standart Penetration Test*) yang diperoleh di lapangan. Yaitu hasil *Boring Log* untuk mengetahui N-SPT pada setiap kedalaman dapat dilihat dari laporan penyelidikan tanah (Tabel 3.1 dan Tabel 3.2). Seperti yang telah dibahas sebelumnya, jenis tanah pada lokasi adalah Tanah Berlempung atau Tanah Kohesif. Sehingga digunakan metode perhitungan yang sesuai dengan jenis

tanah tersebut. Perhitungan kapasitas daya dukung aksial tiang pancang menggunakan data pada titik *Borehole* DB-1. Untuk menghitung daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data SPT dapat dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dibawah ini :

4.2.1. Kapasitas Daya Dukung Aksial Pada *Square Pile* 300x300

Diketahui :

Borehole = DB-1

$S = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m}$

$A = S \times S = 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} = 900 \text{ cm}^2 = 0,09 \text{ m}^2$

$P = 4 \times S = 4 \times 30 \text{ cm} = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$

Tabel 4. 1. Daya Dukung Aksial Pada *Square Pile* 300 x 300

No	Kedalaman (m)	ΔH (m)	Jenis Tanah	N_{SPT}	C_u (kPa)	α	A (m^2)	Q_s (kN)	ΣQ_s (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	SF	Q_{all} (kN)	Q_{all} (ton)
												2.5		
1	1	1	Soft Clay	3	18	1	0.09	21.600	21.600	14.580	36.180		14.472	1.447
2	2	1		2	12	1	0.09	14.400	36.000	9.720	45.720		18.288	1.828
3	3	1		1	6	1	0.09	7.200	43.200	4.860	48.060		19.224	1.922
4	4	1		2	12	1	0.09	14.400	57.600	9.720	67.320		26.928	2.692
5	5	1		3	18	1	0.09	21.600	79.200	14.580	93.780		37.512	3.751
6	6	1	Medium - Stiff Clay	5	30	0.94	0.09	33.840	113.040	24.300	137.340		54.936	5.493
7	7	1		7	42	0.81	0.09	40.824	153.864	34.020	187.884		75.154	7.515
8	8	1		8	48	0.75	0.09	43.200	197.064	38.880	235.944		94.378	9.437
9	9	1		10	60	0.61	0.09	43.920	240.984	48.600	289.584		115.834	11.583
10	10	1		10	60	0.61	0.09	43.920	284.904	48.600	333.504		133.402	13.340
11	11	1		11	66	0.55	0.09	43.560	328.464	53.460	381.924		152.770	15.276
12	12	1		12	72	0.5	0.09	43.200	371.664	58.320	429.984		171.994	17.199
13	13	1		14	84	0.5	0.09	50.400	422.064	68.040	490.104		196.042	19.604
14	14	1		15	90	0.5	0.09	54.000	476.064	72.900	548.964		219.586	21.958
15	15	1	Very Stiff Clay	17	102	0.5	0.09	61.200	537.264	82.620	619.884		247.954	24.795
16	16	1		18	108	0.5	0.09	64.800	602.064	87.480	689.544		275.818	27.581
17	17	1		18	108	0.5	0.09	64.800	666.864	87.480	754.344		301.738	30.173
18	18	1		18	108	0.5	0.09	64.800	731.664	87.480	819.144		327.658	32.765
19	19	1		18	108	0.5	0.09	64.800	796.464	87.480	883.944		353.578	35.357
20	20	1		19	114	0.5	0.09	68.400	864.864	92.340	957.204		382.882	38.288
21	21	1		18	108	0.5	0.09	64.800	929.664	87.480	1017.144		406.858	40.685
22	22	1		18	108	0.5	0.09	64.800	994.464	87.480	1081.944		432.778	43.277
23	23	1		19	114	0.5	0.09	68.400	1062.864	92.340	1155.204		462.082	46.208
24	24	1		19	114	0.5	0.09	68.400	1131.264	92.340	1223.604		489.442	48.944
25	25	1		20	120	0.5	0.09	72.000	1203.264	97.200	1300.464		520.186	52.018
26	26	1		20	120	0.5	0.09	72.000	1275.264	97.200	1372.464		548.986	54.898
27	27	1		20	120	0.5	0.09	72.000	1347.264	97.200	1444.464		577.786	57.778
28	28	1		20	120	0.5	0.09	72.000	1419.264	97.200	1516.464		606.586	60.658
29	29	1		20	120	0.5	0.09	72.000	1491.264	97.200	1588.464		635.386	63.538

4.2.2. Kapasitas Daya Dukung Aksial Pada *Square Pile* 400x400

Diketahui :

Borehole = DB-1

$S = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$

$A = S \times S = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} = 1600 \text{ cm}^2 = 0,16 \text{ m}^2$

$P = 4 \times S = 4 \times 40 \text{ cm} = 160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m}$

Tabel 4. 2. Daya Dukung Aksial Pada *Square Pile* 400 x 400

No	Kedalaman (m)	ΔH (m)	Jenis Tanah	N_{SPT}	C_u (kPa)	α	A (m ²)	Q_s (kN)	$\sum Q_s$ (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	SF	Q_{all} (kN)	Q_{all} (ton)
												2.5		
1	1	1	Soft Clay	3	18	1	0.16	28.800	28.800	25.920	54.720		21.888	2.188
2	2	1		2	12	1	0.16	19.200	48.000	17.280	65.280		26.112	2.611
3	3	1		1	6	1	0.16	9.600	57.600	8.640	66.240		26.496	2.649
4	4	1		2	12	1	0.16	19.200	76.800	17.280	94.080		37.632	3.763
5	5	1		3	18	1	0.16	28.800	105.600	25.920	131.520		52.608	5.260
6	6	1	Medium - Stiff Clay	5	30	0.94	0.16	45.120	150.720	43.200	193.920		77.568	7.756
7	7	1		7	42	0.81	0.16	54.432	205.152	60.480	265.632		106.252	10.625
8	8	1		8	48	0.75	0.16	57.600	262.752	69.120	331.872		132.748	13.274
9	9	1		10	60	0.61	0.16	58.560	321.312	86.400	407.712		163.084	16.308
10	10	1		10	60	0.61	0.16	58.560	379.872	86.400	466.272		186.508	18.650
11	11	1		11	66	0.55	0.16	58.080	437.952	95.040	532.992		213.196	21.319
12	12	1		12	72	0.5	0.16	57.600	495.552	103.680	599.232		239.692	23.969
13	13	1		14	84	0.5	0.16	67.200	562.752	120.960	683.712		273.484	27.348
14	14	1		15	90	0.5	0.16	72.000	634.752	129.600	764.352		305.740	30.574
15	15	1		Very Stiff Clay	17	102	0.5	0.16	81.600	716.352	146.880	863.232		345.292
16	16	1	18		108	0.5	0.16	86.400	802.752	155.520	958.272		383.308	38.330
17	17	1	18		108	0.5	0.16	86.400	889.152	155.520	1044.672		417.868	41.786
18	18	1	18		108	0.5	0.16	86.400	975.552	155.520	1131.072		452.428	45.242
19	19	1	18		108	0.5	0.16	86.400	1061.952	155.520	1217.472		486.988	48.698
20	20	1	19		114	0.5	0.16	91.200	1153.152	164.160	1317.312		526.924	52.692
21	21	1	18		108	0.5	0.16	86.400	1239.552	155.520	1395.072		558.028	55.802
22	22	1	18		108	0.5	0.16	86.400	1325.952	155.520	1481.472		592.588	59.258
23	23	1	19		114	0.5	0.16	91.200	1417.152	164.160	1581.312		632.524	63.252
24	24	1	19		114	0.5	0.16	91.200	1508.352	164.160	1672.512		669.004	66.900
25	25	1	20		120	0.5	0.16	96.000	1604.352	172.800	1777.152		710.860	71.086
26	26	1	20		120	0.5	0.16	96.000	1700.352	172.800	1873.152		749.260	74.926
27	27	1	20		120	0.5	0.16	96.000	1796.352	172.800	1969.152		787.660	78.766
28	28	1	20		120	0.5	0.16	96.000	1892.352	172.800	2065.152		826.060	82.606
29	29	1	20	120	0.5	0.16	96.000	1988.352	172.800	2161.152		864.460	86.446	

4.2.3. Kapasitas Daya Dukung Aksial Pada *Spun Pile* Dia. 500

Diketahui :

Borehole = DB-1

S = 50 cm = 0,5 m

$A = 3,14 \times r^2 = 3,14 \times 25^2 = 1962,5 \text{ cm}^2 = 0,196 \text{ m}^2$

$P = 2 \times 3,14 \times r = 2 \times 3,14 \times 50 \text{ cm} = 157 \text{ cm} = 1,57 \text{ m}$

Tabel 4. 3. Daya Dukung Aksial Pada *Spun Pile* Dia. 500

No	Kedalaman (m)	ΔH (m)	Jenis Tanah	N_{SPT}	C_u (kPa)	α	A (m^2)	Q_s (kN)	$\sum Q_s$ (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	SF	Qall (kN)	Qall (ton)
												2.5		
1	1	1	Soft Clay	3	18	1	0.196	28.260	28.260	31.752	60.012		24.004	2.400
2	2	1		2	12	1	0.196	18.840	47.100	21.168	68.268		27.307	2.730
3	3	1		1	6	1	0.196	9.420	56.520	10.584	67.104		26.841	2.684
4	4	1		2	12	1	0.196	18.840	75.360	21.168	96.528		38.611	3.861
5	5	1		3	18	1	0.196	28.260	103.620	31.752	135.372		54.148	5.414
6	6	1	Medium - Stiff Clay	5	30	0.94	0.196	44.274	147.894	52.920	200.814		80.325	8.032
7	7	1		7	42	0.81	0.196	53.411	201.305	74.088	275.393		110.157	11.015
8	8	1		8	48	0.75	0.196	56.520	257.825	84.672	342.497		136.998	13.699
9	9	1		10	60	0.61	0.196	57.462	315.287	105.840	421.127		168.450	16.845
10	10	1		10	60	0.61	0.196	57.462	372.749	105.840	478.589		191.435	19.143
11	11	1		11	66	0.55	0.196	56.991	429.740	116.424	546.164		218.465	21.846
12	12	1		12	72	0.5	0.196	56.520	486.260	127.008	613.268		245.307	24.530
13	13	1		14	84	0.5	0.196	65.940	552.200	148.176	700.376		280.150	28.015
14	14	1		15	90	0.5	0.196	70.650	622.850	158.760	781.610		312.644	31.264
15	15	1		17	102	0.5	0.196	80.070	702.920	179.928	882.848		353.139	35.313
16	16	1	18	108	0.5	0.196	84.780	787.700	190.512	978.212		391.284	39.128	
17	17	1	18	108	0.5	0.196	84.780	872.480	190.512	1062.992		425.196	42.519	
18	18	1	18	108	0.5	0.196	84.780	957.260	190.512	1147.772		459.108	45.910	
19	19	1	18	108	0.5	0.196	84.780	1042.040	190.512	1232.552		493.020	49.302	
20	20	1	Very Stiff Clay	19	114	0.5	0.196	89.490	1131.530	201.096	1332.626		533.050	53.305
21	21	1		18	108	0.5	0.196	84.780	1216.310	190.512	1406.822		562.728	56.272
22	22	1		18	108	0.5	0.196	84.780	1301.090	190.512	1491.602		596.640	59.664
23	23	1		19	114	0.5	0.196	89.490	1390.580	201.096	1591.676		636.670	63.667
24	24	1		19	114	0.5	0.196	89.490	1480.070	201.096	1681.166		672.466	67.246
25	25	1		20	120	0.5	0.196	94.200	1574.270	211.680	1785.950		714.380	71.438
26	26	1		20	120	0.5	0.196	94.200	1668.470	211.680	1880.150		752.060	75.206
27	27	1		20	120	0.5	0.196	94.200	1762.670	211.680	1974.350		789.740	78.974
28	28	1		20	120	0.5	0.196	94.200	1856.870	211.680	2068.550		827.420	82.742
29	29	1		20	120	0.5	0.196	94.2	1951.070	211.68	2162.750		865.100	86.510

Keterangan :

S : Sisi dimensi tiang pancang

A : Luas penampang tiang pancang

P : Keliling tiang pancang

4.3. Jenis Tanah

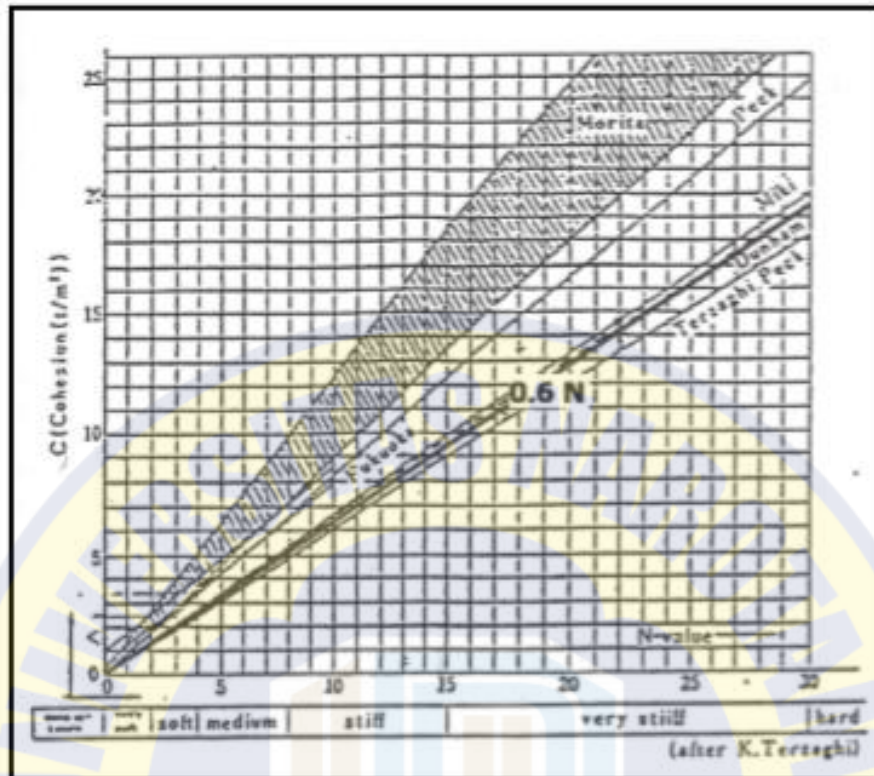
SPT yang dilakukan pada tanah tidak kohesif tapi berbutir halus atau lanau, yang permeabilitasnya rendah, mempengaruhi perlawanan penetrasi yakni memberikan harga SPT yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang permeabilitasnya tinggi untuk kepadatan yang sama. (Shamsher Prakash, 1989). Hubungan antara N SPT dan *Relative Density* (D_r) dapat dilihat dibawah ini (Tabel 4.4) :

Tabel 4. 4. Hubungan N dengan D_r untuk Tanah Lempung (Shamsher Prakash, 1989)

<i>Relative Density</i> (D_r)	N
<i>Very soft</i> / Sangat lunak	2
<i>Soft</i> / Lunak	2 - 4
<i>Medium</i> / Kenyal	4 - 8
<i>Stiff</i> / Sangat kenyal	8 - 15
<i>Hard</i> / Keras	15 - 30
Padat	> 30

4.3.1 Korelasi nilai N-SPT terhadap Kohesi (C_u)

Nilai Kohesi (C_u) menunjukkan besarnya kohesi tanah dalam kondisi tak terdrainase *undrained shear strength* (C_u). Berdasarkan grafik pada Gambar 4-1, secara umum nilai C_u dapat diambil sebesar 0,6 kali nilai N-SPT dimana C_u dalam satuan ton/m³. Pada penelitian ini nilai C_u diambil sebesar 0,6 kali nilai N-SPT.



Gambar 4- 1. Hubungan nilai kohesi dan N-SPT pada tanah kohesif (Terzaghi, 1943)

1. Mencari nilai C_u

$$C_u = 0,6 \times N\text{-SPT} \quad (4.1)$$

Diketahui :

TP = Square pile 300 x 300

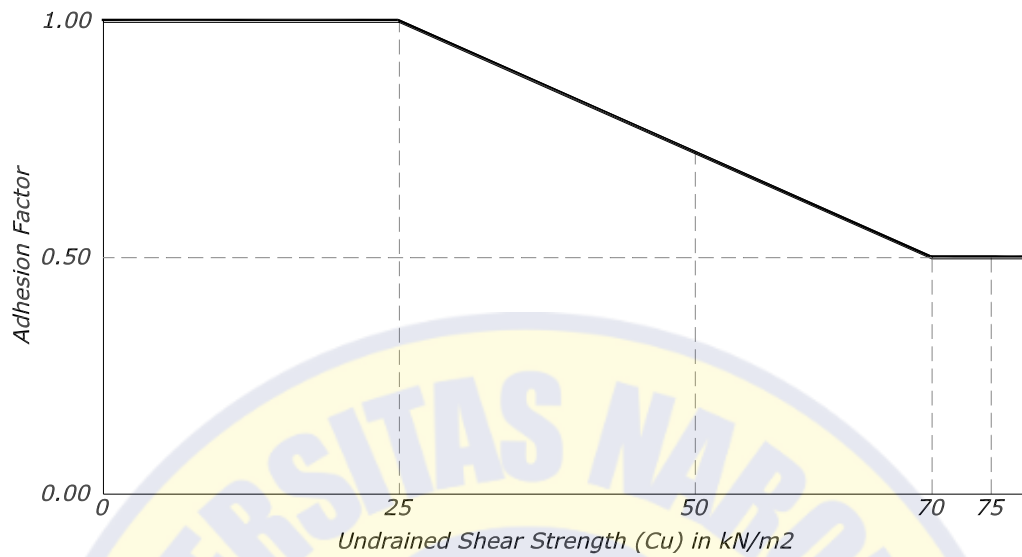
Kedalaman tanah = 1 m

Nilai N-SPT = 3

Maka, $C_u = 0,6 \times 3 = 1,8 \text{ t/m}^3 = 18 \text{ kPa}$

4.3.2 Faktor Adhesi (α) pada Tanah Kohesif untuk Tiang Pancang :

Faktor adhesi (α) pada tanah kohesif (berlempung) untuk tiang pancang adalah sebagai berikut : Menurut API, Metode 2 (1986), nilai α dapat dilihat pada hubungan antara c versus α pada Gambar 4-2 :



Gambar 4- 2. Faktor Adhesi α (API, Metode 2, 1986)

4.3.3 Tanah Kohesif atau Tanah Berlempung

Untuk menentukan dimensi tiang pancang yang dapat menahan beban *Tower Crane* setinggi 60 m, maka dilakukan beberapa perhitungan dengan menggunakan *square pile* dan *spun pile*. Hal ini dimaksudkan agar mendapatkan dimensi tiang pancang yang sesuai dan dapat menahan gaya yang terjadi.

1. Mencari Nilai tahanan geser selimut tiang

$$Q_s = \alpha \times C_u \times P \times L_i \quad (4.2)$$

Diketahui :

TP = *Square pile* 300 x 300

α = 1

C_u = 18 kPa

P = 1,2 m

L_i = 1

Maka,

$$Q_s = 1 \times 18 \times 1,2 \times 1 = 21,6 \text{ kN}$$

2. Mencari Nilai $\sum Q_s$

$$\sum Q_{s1} = Q_{s1} \quad (4.3)$$

$$\sum Q_{s2} = \sum Q_{s1} + Q_{s2} \quad (4.4)$$

$$\sum Q_{s3} = \sum Q_{s2} + Q_{s3} \quad (4.5)$$

Diketahui :

$$Q_{s1} = 21,600 \text{ kN}$$

$$Q_{s2} = 14,400 \text{ kN}$$

Maka,

$$\sum Q_{s1} = 21,600 \text{ kN}$$

$$\sum Q_{s2} = 21,600 + 14,400 = 36,000 \text{ kN}$$

3. Mencari Nilai Daya Dukung Ujung Tiang Pancang

Daya dukung ujung tiang pancang dihitung menggunakan rumus dibawah ini :

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (4.6)$$

Dimana :

α : koefisien adhesi antara tanah dan tiang

C_u : kohesi *undrained* (kN/m^2 atau kPa)

A_p : luas penampang tiang (m^2)

P : keliling penampang tiang (m)

L_i : tebal lapisan tanah (m)

Diketahui :

$$TP = \text{Square pile } 300 \times 300$$

$$C_u = 18 \text{ kPa}$$

$$A_p = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka, } Q_p = 9 \times 18 \times 0,09 = 14,58 \text{ kN}$$

4. Menghitung Gaya Perlawanan Ultimit

Gaya perlawanan ultimit memiliki hubungan sebagai berikut :

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \quad (4.7)$$

Diketahui :

$$Q_s = 21,600 \text{ kN}$$

$$\sum Q_p = 14,580 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } Q_{ult} = 21,600 + 14,580 = 36,180 \text{ kN}$$

5. Angka Keamanan/ *Safety Factor* (SF)

Angka keamanan tetap diambil sebesar sebesar 2.5 (Tomlinson. 1977 dan *Canadian Foundation Engineering Manual*, 1990).

6. Menghitung Nilai Q_a

Jadi untuk Q_a adalah :

$$Q_a = Q_u/2,5 \quad (4.8)$$

Diketahui :

$$Q_u = 36,180 \text{ kN}$$

Maka,

$$Q_a = 36,180 / 2,5 = 14,472 \text{ kN} = 1,4472 \text{ ton}$$

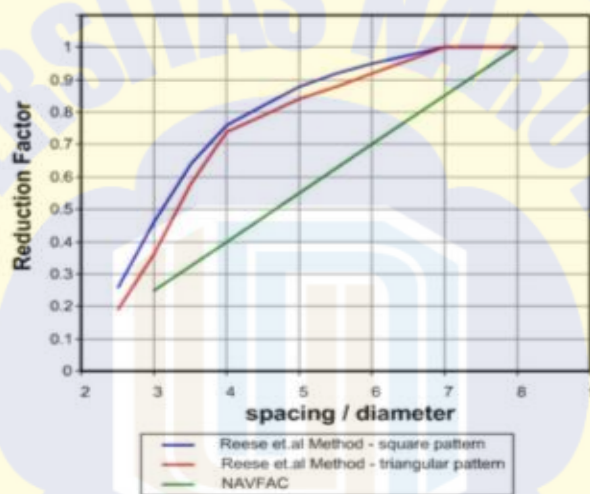
4.4 Daya Dukung Lateral Tiang Pancang

Daya dukung lateral dari tiang tunggal saat menerima beban lateral di kepala tiang dianalisis berdasarkan metode p-y. Metode ini dikembangkan oleh Reese et al. (1974) dan telah diterapkan pada program bantu COM624P V2.0 yang digunakan dalam analisis. Program ini dikembangkan oleh S.T. Wang dan L.C. Reese dengan sponsor dari *Federal Highway Administration (FHWA)*, Washington, Amerika Serikat. Kondisi jepit dan beban lateral yang bekerja pada kepala tiang dapat dimodelkan untuk memperoleh perilaku tiang, terutama berupa distribusi defleksi lateral, momen lentur dan geser sepanjang tiang. Kapasitas lateral tiang harus diperkirakan dengan memerhatikan karakteristik tanah, karakteristik tiang tunggal maupun kelompok tiang, interaksi tanah dengan tiang maupun kelompok tiang. Tiang dan *pile cap* sebaiknya tidak digunakan bersamaan untuk memikul gaya-gaya lateral kecuali distribusi gaya-gaya tersebut di antara tiang dan kepala tiang dapat ditentukan. Perencanaan tiang yang akan menerima beban lateral harus mempertimbangkan hal-hal berikut ini:

- a) Kuat geser tanah
- b) Kapasitas struktur tiang
- c) Deformasi yang diizinkan, dan

d) *Group effect*.

Selain untuk analisis tiang tunggal, juga dilakukan tinjauan untuk tiang tunggal yang berada dalam kelompok tiang, yang dimodelkan dengan mereduksi nilai modulus k dari lapisan tanah menjadi hanya sebesar 0.80 – 1.00 dari nilai k awal untuk kondisi tiang tunggal sesuai usulan dari Davisson (1970) untuk tiang-tiang dengan jarak yang akan ditentukan dengan mempertimbangkan gaya aksial dan lateral yang terjadi pada fondasi, seperti pada Gambar 4-3 :



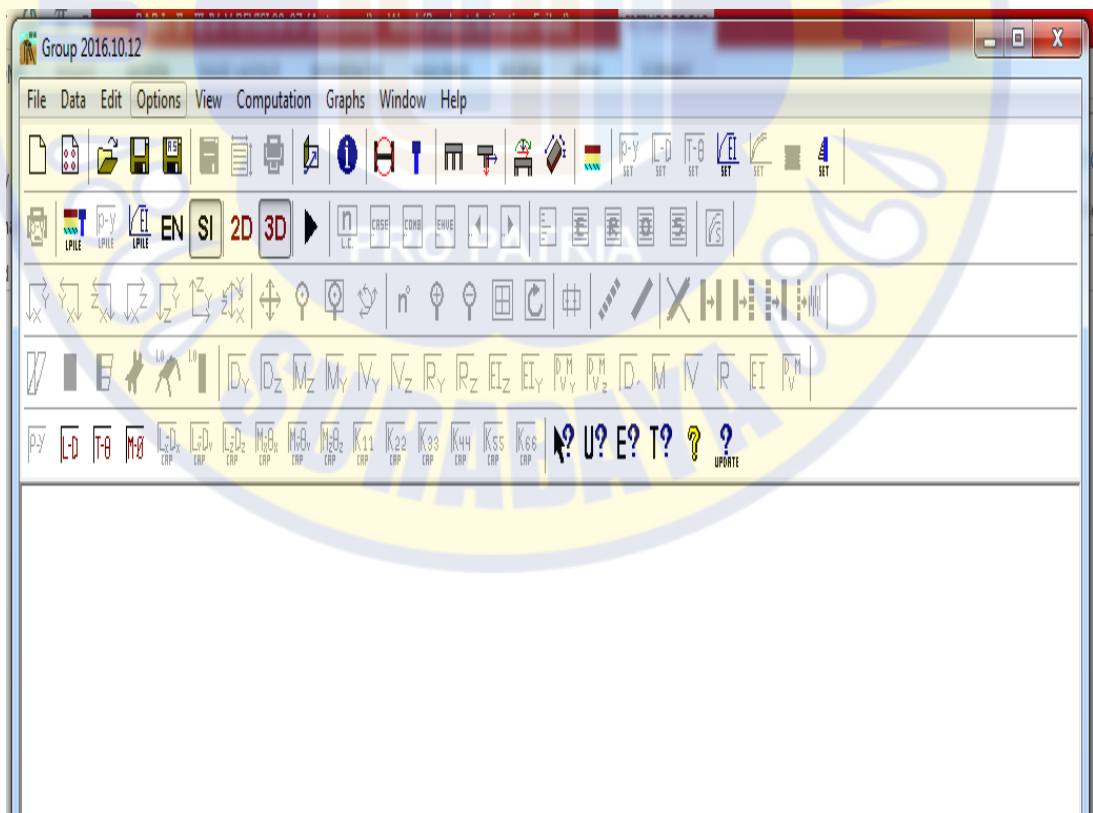
Gambar 4- 3. Faktor Reduksi Modulus k (Navfac dan Reese et.al)

4.5 Kontrol *Group Pile*

Fondasi tiang pancang pada umumnya dipasang secara berkelompok. Untuk melakukan kontrol terhadap kelompok fondasi tiang pancang, penulis menggunakan program Ensoft 2016. Dengan menggunakan program Ensoft 2016 akan didapatkan daya dukung tiang pancang pada fondasi kelompok serta momen lentur yang terjadi. Kemudian hasil perhitungan daya dukung fondasi dari Ensoft 2016 dibandingkan dengan perhitungan daya dukung fondasi dari data sekunder dan telah dilakukan perhitungan secara analitis. Dan untuk momen lentur dari Ensoft 2016 dibandingkan dengan momen lentur yang terjadi berdasarkan spesifikasi produk, dalam hal ini penulis menggunakan spesifikasi produk dari Wika dan JHS. Adapun parameter yang

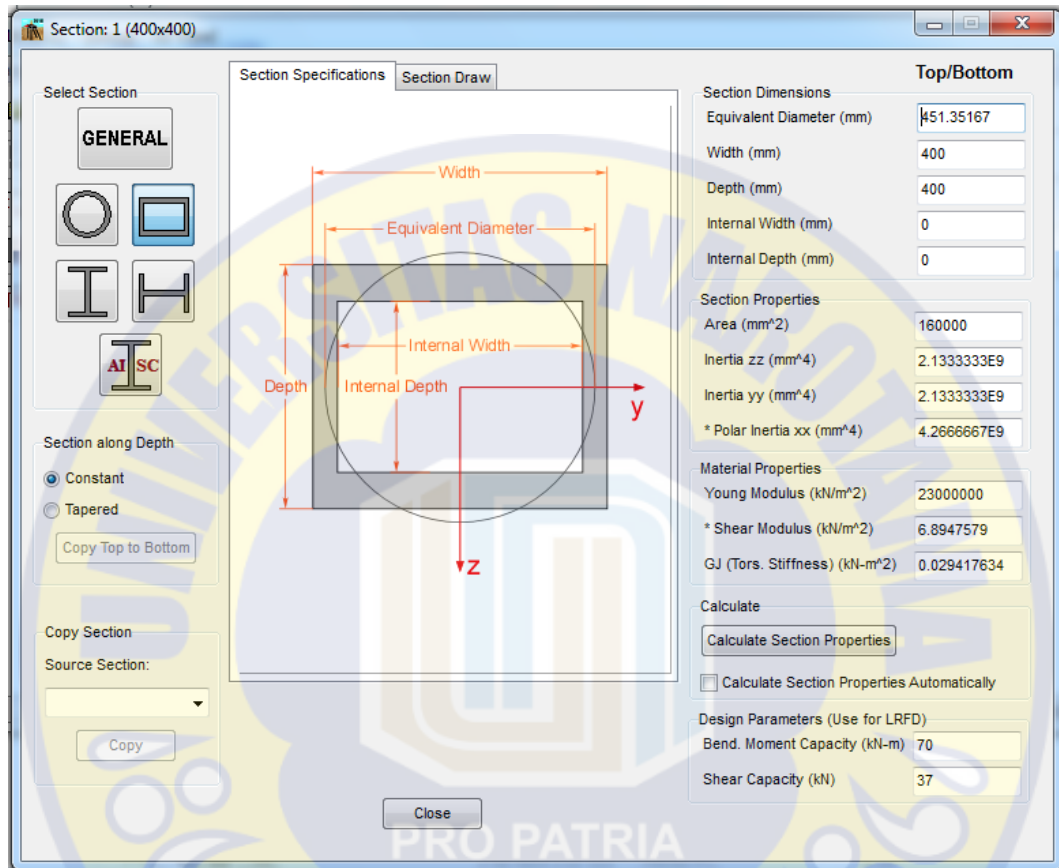
diperlukan untuk di masukkan pada program Ensoft 2016 (Gambar 4-4), untuk mendapatkan *output* yang dibutuhkan antara lain :

- a. Jenis tiang pancang
- b. Dimensi tiang pancang
- c. Jumlah tiang pancang
- d. Beban yang terjadi
- e. Dimensi *pile cap*
- f. Momen lentur (dari spesifikasi produk)
- g. Jenis tanah
- h. Data setiap lapisan tanah yang meliputi kedalaman lapisan tanah, koefisien tanah, berat isi kering tanah, sudut geser dan jumlah lapisan tanah.



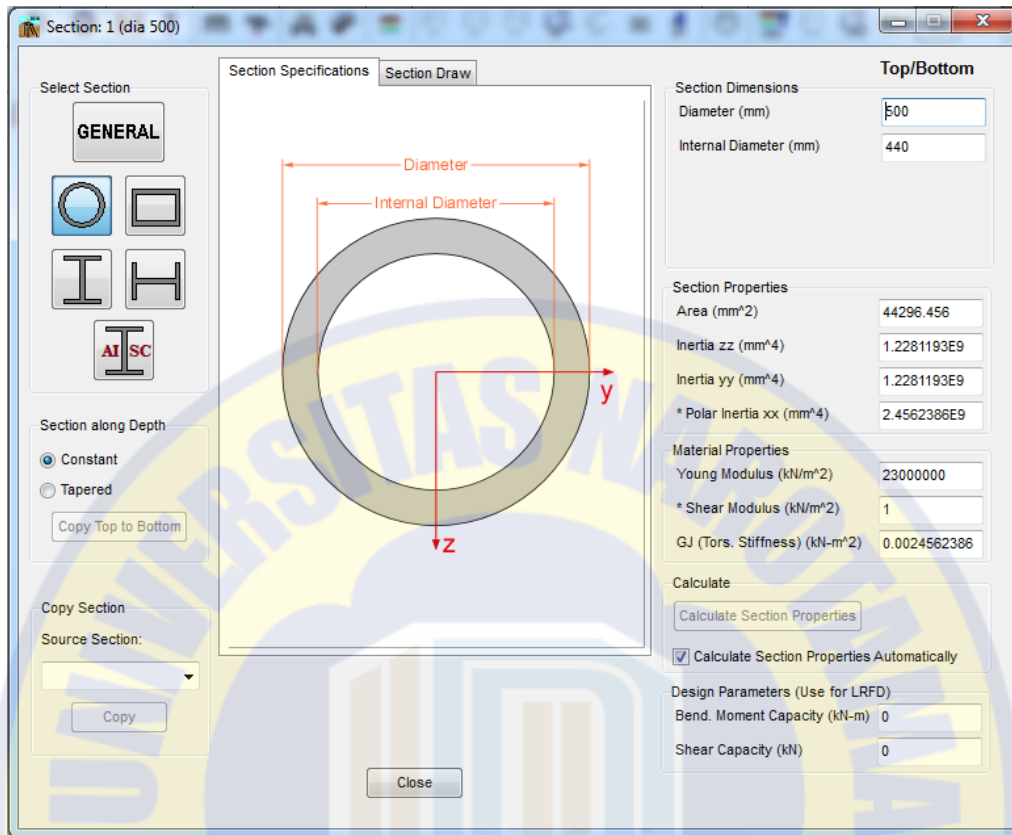
Gambar 4- 4. Tampilan awal Ensoft 2016

Setelah semua parameter diatas telah diketahui kemudian dimasukkan kedalam Ensoft 2016 pada *Tools Pile Cross Section*. Seperti tampilan Gambar 4-5 dibawah ini :



Gambar 4- 5. Tampilan *Pile Cross Section (Square Pile)*

Pada tampilan diatas dapat dipilih jenis tiang pancang, *square pile* atau *spun pile*. Kemudian masukkan dimensi tiang pancang. Jika jenis tiang pancang adalah *square pile* maka masukkan lebar dan panjangnya. Jika jenis tiang pancang adalah *spun pile* maka masukkan diameter tiang pancang, seperti Gambar 4-6 dibawah ini :

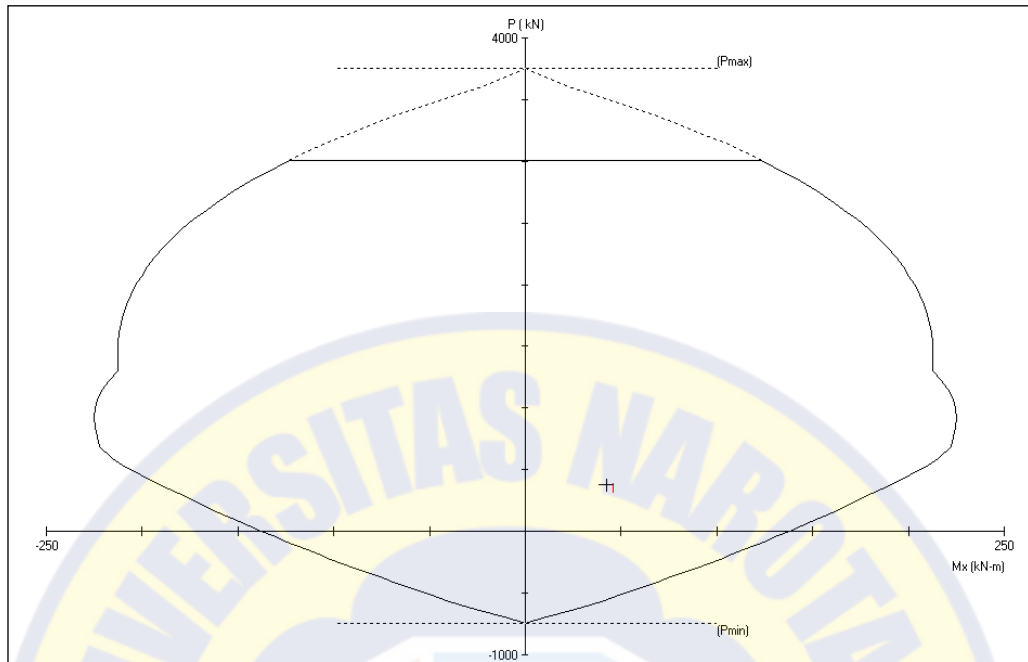


Gambar 4- 6. Tampilan *Pile Cross Section (Spun Pile)*

Kemudian masukkan momen lentur (*bending moment capacity*) untuk *square pile* dapat dilihat pada tabel spesifikasi produk yg digunakan. Pada *spun pile* untuk mengetahui momen lentur parameter yang harus dimasukkan antara lain :

- a. Dimensi tiang pancang
- b. Penulangan, penulangan minimum $\phi 10$, mutu beton f_c 25 atau f_c 30
- c. Momen dan gaya aksial yang terjadi

Untuk mengetahui momen lentur *spun pile* penulis menggunakan program *pcaColumn* dengan memasukkan parameter-parameter diatas pada program. Setelah dieksekusi akan keluar gambar dengan diagram interaksinya. Gambar diagram interaksi dapat dilihat pada Gambar 4-7 :



Gambar 4- 7. Diagram Interaksi Tiang Pancang

Jika beban yg terjadi berada didalam garis diagram, maka tiang pancang dapat menahan beban yang terjadi. Jika tidak, maka ada beberapa hal yang dapat dilakukan, antara lain :

- a. Meningkatkan mutu beton
- b. Tambah jumlah tulangan, ubah diameter tulangan (luas tulangan efisien berkisar 1% - 3%)
- c. Memperbesar dimensi tiang pancang

Jika ada persyaratan yang tidak sesuai maka program akan memberikan peringatan. Hasil *output* dari program *pcaColumn* dapat dilihat pada Gambar 4-8 dibawah ini :

```

Section:
=====
Circular:      Diameter = 500 mm

Gross section area, Ag = 196350 mm^2
Ix = 3.06796e+009 mm^4          Iy = 3.06796e+009 mm^4
Xo = 0 mm                      Yo = 0 mm

Reinforcement:
=====
Rebar Database: ASTM A615M
Size Diam (mm) Area (mm^2)   Size Diam (mm) Area (mm^2)   Size Diam (mm) Area (mm^2)
-----
# 10          10          71   # 13          13          129   # 16          16          199
# 19          19          284  # 22          22          387   # 25          25          510
# 29          29          645  # 32          32          819   # 36          36          1006
# 43          43          1452 # 57          57          2581

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Circular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, As = 2064 mm^2 at 1.05%
16 #13 Cover = 60 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
No.      Pu      Mux      fMnx
kN       kN-m    kN-m    kN-m   fMn/Mu
-----
1        379.8   42.2    190.6   4.516

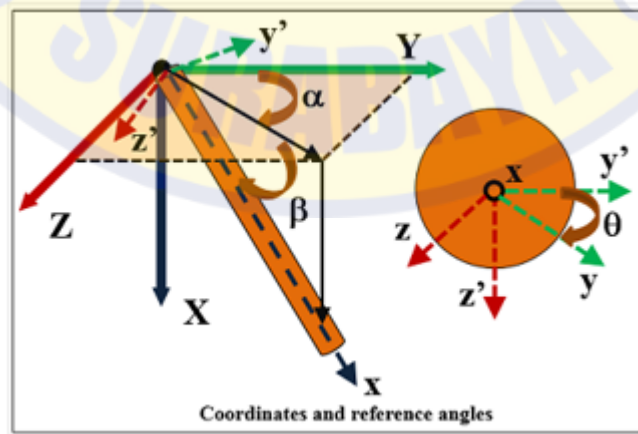
*** Program completed as requested! ***

```

Gambar 4- 8. Hasil *Output* PcaColumn

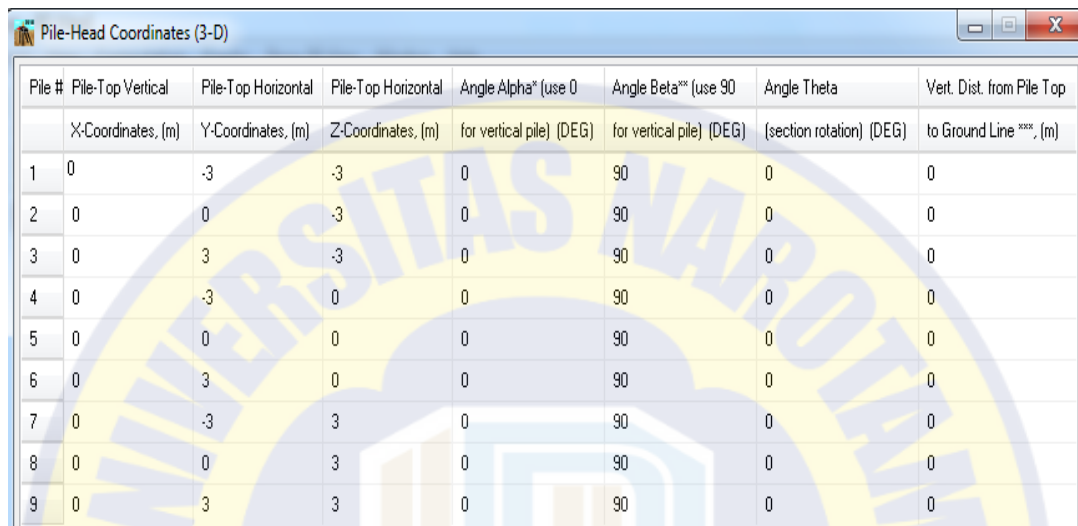
4.6 Koordinat Tiang Pancang

Koordinat tiang pancang untuk menentukan koordinat serta arah tiang pancang dengan sumbu x, y dan z, seperti Gambar 4-9 dibawah ini :



Gambar 4- 9. Koordinat dan Sumbu

Pada penelitian ini digunakan *pile cap* berukuran 7 x 7 x 1.7 m untuk mengikat fondasi kelompok tiang pancang. Pada fondasi kelompok tiang jarak antar tiang adalah 3 m kemudian di *input* pada program Ensoft 2016 (Gambar 4-10) seperti dibawah ini :



Pile #	Pile-Top Vertical	Pile-Top Horizontal	Pile-Top Horizontal	Angle Alpha* (use 0	Angle Beta** (use 90	Angle Theta	Vert. Dist. from Pile Top
	X-Coordinates, (m)	Y-Coordinates, (m)	Z-Coordinates, (m)	for vertical pile) (DEG)	for vertical pile) (DEG)	(section rotation) (DEG)	to Ground Line ***, (m)
1	0	-3	-3	0	90	0	0
2	0	0	-3	0	90	0	0
3	0	3	-3	0	90	0	0
4	0	-3	0	0	90	0	0
5	0	0	0	0	90	0	0
6	0	3	0	0	90	0	0
7	0	-3	3	0	90	0	0
8	0	0	3	0	90	0	0
9	0	3	3	0	90	0	0

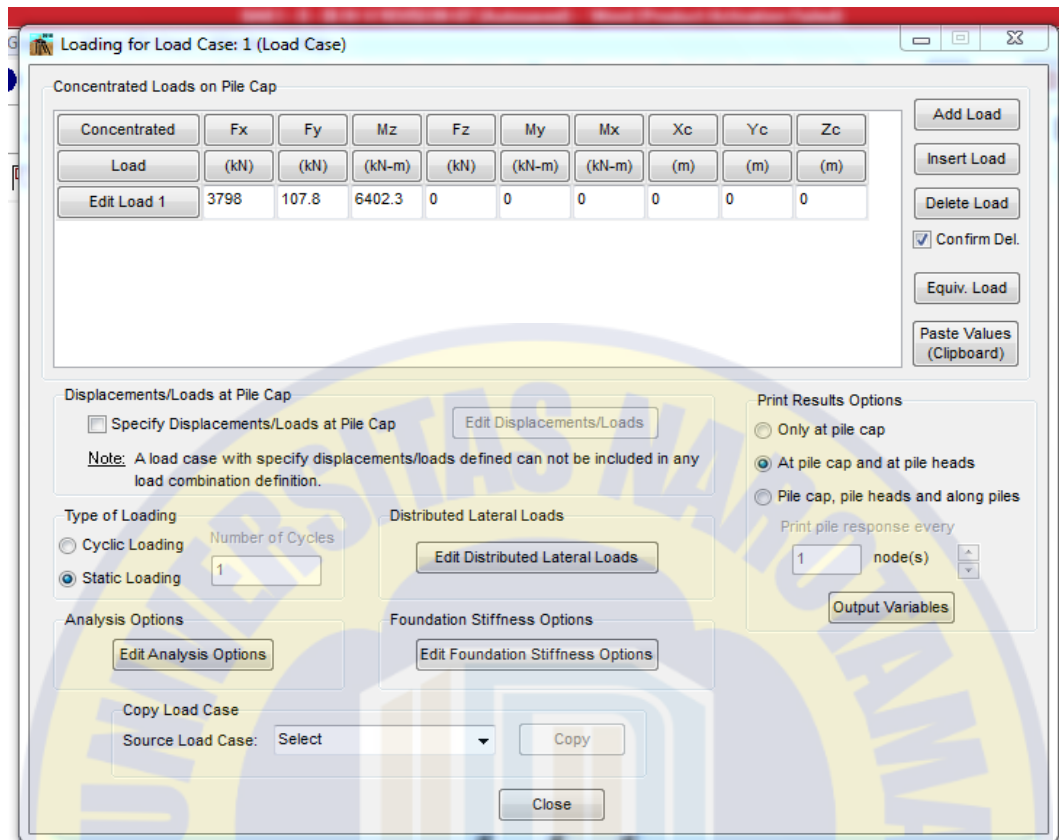
Gambar 4- 10. Tampilan *Input* Koordinat Kelompok Tiang

4.7 Pembebanan

Pada penelitian ini data pembebanan yang di pakai adalah momen, beban vertikal dan beban vertikal. Data pembebanan didapatkan dari *Engineering Department* proyek sebagai berikut :

- a. Momen : 640,23 ton-m
- b. Vertikal : 379,80 ton
- c. Horizontal : 10,78 ton (angin + gempa)

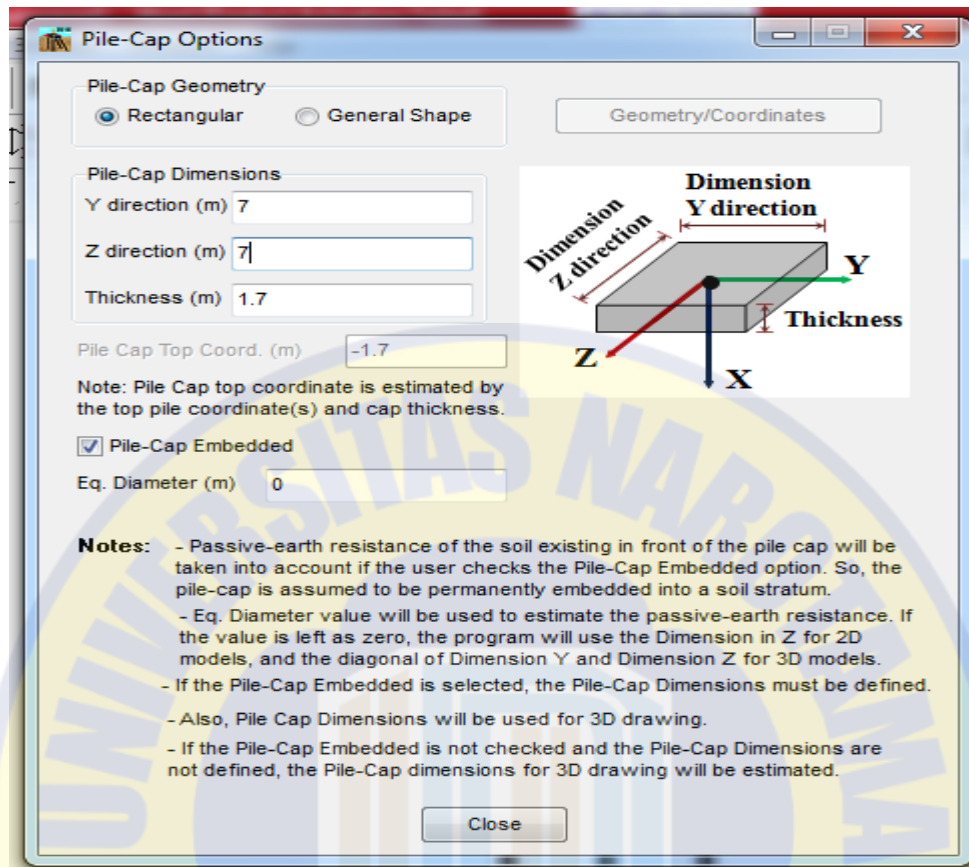
Kemudian masukkan beban tersebut pada program Ensoft 2016 (Gambar 4 – 11) seperti dibawah ini :



Gambar 4- 11. Input Data Pembebanan

4.8 Dimensi Pile Cap

Pile cap merupakan bagian dari fondasi yang berfungsi untuk mengikat fondasi tiang pancang yang pada umumnya dipasang berkelompok. Pada kasus ini *pile cap* yang digunakan adalah 7 m x 7 m x 1.7 m sesuai dengan data yang diperoleh dari *Engineering Department* Proyek. Untuk itu perlu dilakukan kontrol terhadap dimensi *pile cap* dengan kelompok fondasi tiang pancang yang telah direncanakan. Pada program Ensoft 2016 setelah dilakukan *input* terhadap pembebanan kemudian dilanjutkan dengan *input* dimensi *pile cap* seperti Gambar 4-12 dibawah ini :



Gambar 4- 12. Input Pile Cap

4.9 Lapisan Tanah

Berdasarkan penyelidikan tanah yang telah dilakukan, perkiraan stratifikasi lapisan tanah bawah lokasi dapat disimpulkan bahwa tanah di lokasi adalah tanah lempung. Pada Ensoft 2016 dimasukkan pula lapisan tanah (Gambar 4-12 dan Gambar 4-13) yang meliputi kedalaman lapisan tanah, koefisien tanah, berat isi kering tanah, sudut geser dan jumlah lapisan tanah.

Layer	Soil Type	Depth for Top of Soil Layer (m)	Depth for Bottom of Soil Layer (m)	Properties of Layer
1	Stiff Clay with Free Water (Reese)	0	5	1: Stiff Clay with Free Water
2	Stiff Clay with Free Water (Reese)	5	7	2: Stiff Clay with Free Water
3	Stiff Clay with Free Water (Reese)	7	15	3: Stiff Clay with Free Water
4	Stiff Clay with Free Water (Reese)	15	30	4: Stiff Clay with Free Water

Gambar 4- 13. Tipe Lapisan Tanah

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Undrained Cohesion, c (kN/m ²)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Strain Factor E50	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16.2	24	136000	0.005	0	0
2	16.2	24	136000	0.005	0	0

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.
 p-y Modulus, k, and Strain Factor E50:
 - Always check recommended value in Geotechnical Investigation Reports.
 - Program will help to estimate values for p-y Modulus, k, and Strain Factor E50 if zero input values are entered.
 Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:
 - The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
 - The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
 - Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
 - Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Gambar 4- 14. Properti Lapisan Tanah

Untuk mengisi *effective unit weight*, *undrained cohesion*, p-y modulus, dan *strain factor E-50* menggunakan Tabel 4.5, Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4. 5. Nilai E50 Untuk Tanah Liat

Consistency of Clay	E50
<i>Soft</i>	0.020
<i>Medium</i>	0.010
<i>Stiff</i>	0.005

Tabel 4. 6. Nilai E50 Untuk Tanah Liat Keras

Average Undrained Shear Strenght (kPa)	E50
50 - 100	0.007
100 - 200	0.005
300 - 400	0.004

Tabel 4. 7. Tanah-Modulus Parameter k Untuk Pasir

Relative Density	Loose	Medium	Dense
<i>Submerged Sand</i>	200 lb/in ³	60 lb/in ³	125 lb/in ³
	5430 kN/m ³	16300 kN/m ³	33900 kN/m ³
<i>Sand Above WT</i>	25 lb/in ³	90 lb/in ³	225 lb/in ³
	6790 kN/m ³	24430 kN/m ³	61000 kN/m ³

Tabel 4. 8. Tanah-Modulus Parameter k Untuk Tanah Liat

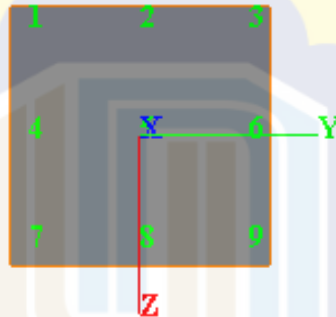
<i>Clay Type</i>	<i>Average Undrained Shear Strenght (Cu)</i>	<i>Static</i>	<i>Cyclic</i>
<i>Soft</i>	1.74 - 3.47 psi	30 pci	
	250 - 500 psf		
	12 - 24 kPa	8140 kPa/m	
<i>Medium</i>	3.74 - 6.94 psi	100 pci	
	500 - 1000 psf		
	24 - 48 kPa	27150 kPa/m	
<i>Stiff</i>	6.94 - 13.9 psi	500 pci	200 pci
	1000 - 2000 psf		
	48 - 96 kPa	136000 kPa	54300 kPa/m
<i>Very Stiff</i>	13.9 - 27.8 psi	1000 pci	400 pci
	2000 - 4000 psf		
	96 - 192 kPa	271000 kPa/m	108500 kPa/m
<i>Hard</i>	27.8 - 55.6 psi	2000 pci	800 pci
	4000 - 8000 psf		
	192 - 383 kPa	543000 kPa/m	217000 kPa/m

Tabel 4. 9. Satuan Berat dan Satuan Jenuh

		<i>Bulk Unit Weight (kN/m³)</i>		<i>Saturated Unit Weight (kN/m³)</i>	
		<i>Loose</i>	<i>Dense</i>	<i>Loose</i>	<i>Dense</i>
<i>Granular Soils</i>	<i>Gravel</i>	16.0	18.0	20.0	21.0
	<i>Well graded sand and gravel</i>	19.0	21.0	21.5	23.0
	<i>Coarse or medium sand</i>	16.5	18.5	20	21.5
	<i>Well graded sand</i>	18.0	21.0	20.5	22.5
	<i>Fine or silty sand</i>	17.0	19.0	20.0	21.5
	<i>Rock fill</i>	15.0	17.5	19.5	21.0
	<i>Brick hardcore</i>	13.0	17.5	16.5	19.0
	<i>Slag fill</i>	12.0	15.0	18.0	20.0
	<i>Ash fill</i>	6.5	10.0	13.0	15.0
<i>Cohesive Soils</i>	<i>Peat (high variability)</i>	12.0		12.0	
	<i>Organic clay</i>	15.0		15.0	
	<i>Soft clay</i>	17.0		17.0	
	<i>Firm clay</i>	18.0		18.0	
	<i>Stiff clay</i>	19.0		19.0	
	<i>Hand clay</i>	20.0		20.0	
	<i>Stiff or hard glacial clay</i>	21.0		21.0	

4.10 Hasil Program Ensoft 2016

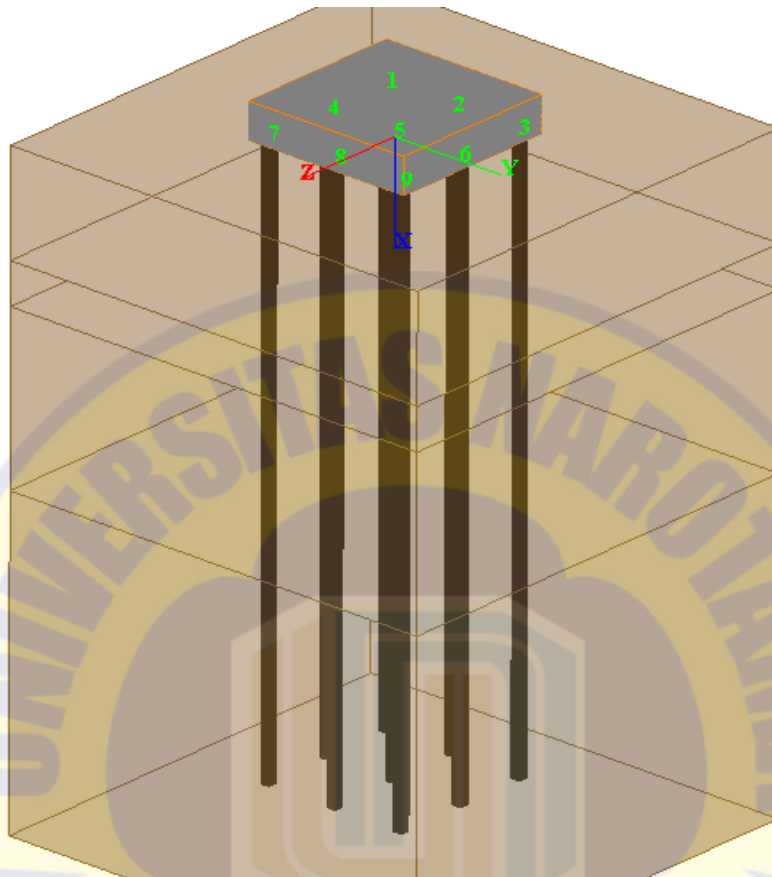
Hasil dari program Ensoft 2016 berupa gambar 2D, 3D, grafik dan angka-angka yang menunjukkan defleksi, momen lentur serta daya dukung ijin yang terjadi pada fondasi kelompok tiang. Gambar 2D maupun 3D yang dihasilkan akan menunjukkan tiang-tiang pancang yang telah terikat dengan *pile cap* (Gambar 4-15). Serta dapat memperlihatkan lapisan tanah (Gambar 4-16) yang telah dimasukkan pada program Ensoft 2016. Gambar tersebut dapat diubah *mode view* nya menjadi tampak atas, tampak bawah, tampak kanan, tampak kiri, tampak belakang dan tampak isometrinya (Gambar 4-17) dan disertai dengan keterangan sumbu x, y dan z nya. Selain itu gambar dapat diputar-putar hingga 360°.



Gambar 4- 15. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang Tanpa Lapisan Tanah



Gambar 4- 16. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang Dengan Lapisan Tanah

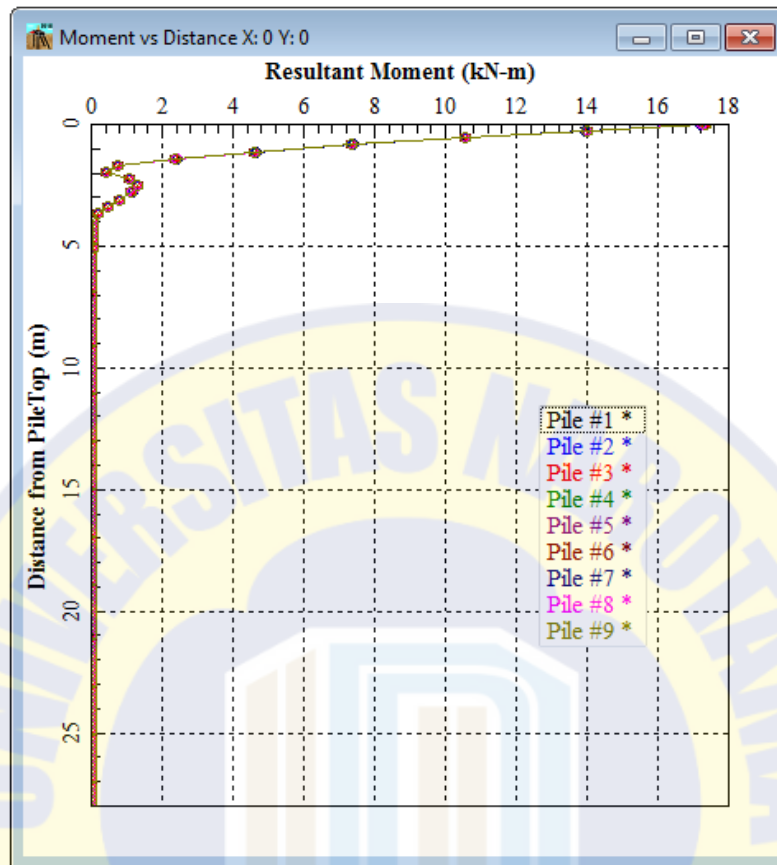


Gambar 4- 17. Tampak Isometri Fondasi Kelompok Tiang

Dapat dilihat pada tampak atas fondasi kelompok tiang terdapat penomoran tiang pancang (Gambar 4-15). Hal ini untuk memudahkan penulis menganalisa setiap tiang pancang dan mengetahui nomor tiang yang memikul beban paling besar. Setelah melakukan langkah-langkah diatas, kemudian dapat mulai dilakukan analisa hasil program dan hitungan analistis terhadap momen lentur dan daya dukung ijin yang terjadi.

4.10.1 Hasil Program Ensoft 2016 Pada *Square Pile 300 x 300*

Dari hasil analisis program, didapatkan hasil berupa defleksi dan momen lentur yang terjadi (Gambar 4-18) di setiap tiang pancang pada fondasi kelompok tiang, adalah sebagai berikut :



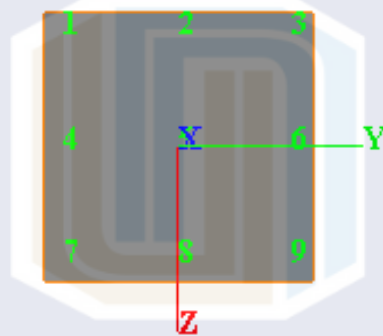
Gambar 4- 18. Grafik Momen Vs Jarak Tiang Atas *Square Pile* 300 x 300

Kemudian dapat diketahui *bending moment* yang terjadi dengan hasil *output* program Ensoft 2016 (Tabel 4.10) dibawah ini :

Tabel 4. 10. Momen Lentur *Square Pile* 300 x 300 Dari Ensoft 2016

PILE	DISPL. y-DIR M	DISPL. z-DIR M	MOMENT z-DIR KN- M	MOMENT y-DIR KN- M
*****	*****	*****	*****	*****
1	-2.1950E-04	0.0000	-17.200	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	-2.1950E-04	0.0000	-17.264	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-2.1950E-04	0.0000	-17.335	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	-2.1950E-04	0.0000	-17.200	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-2.1950E-04	0.0000	-17.264	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	-2.1950E-04	0.0000	-17.335	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	-2.1950E-04	0.0000	-17.200	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	-2.1950E-04	0.0000	-17.264	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	-2.1950E-04	0.0000	-17.335	0.0000
x (M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Dapat disimpulkan bahwa momen lentur terbesar yang terjadi pada fondasi kelompok tiang dengan menggunakan *square pile* 300 x 300 dengan 9 *pile* (Gambar 4-19) adalah 17.335 kN-m. Sementara pada spesifikasi produk yang digunakan yaitu JHS, momen lentur yang diijinkan adalah sebesar 29.43 kN-m. sehingga $17.335 \text{ kN-m} < 29.43 \text{ kN-m}$. Jadi momen lentur pada fondasi kelompok tiang pancang tidak melebihi momen lentur ijin desainnya. Setelah momen lentur yang terjadi telah diketahui dan tidak melebihi momen lentur yang diijinkan, kemudian kontrol daya dukung ijin desainnya. Hasil *output* dari program Ensoft 2016 (Tabel 4.11) yaitu daya dukung fondasi kelompok tiang pancang dan daya dukung ijin fondasi kelompok tiang disajikan pada data berikut ini (Tabel 4.12) :



Gambar 4- 19. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang

Tabel 4. 11. Daya Dukung *Square Pile* 300 x 300 Dari Ensoft 2016

* PILE TOP REACTIONS *	
PILE GROUP	AXIAL, KN
*****	*****
1	762.62
2	434.87
3	68.516
4	762.62
5	434.87
6	68.516
7	762.62
8	434.87
9	68.516

Tabel 4. 12. Daya Dukung Ijin Desain *Square Pile* 300 x 300

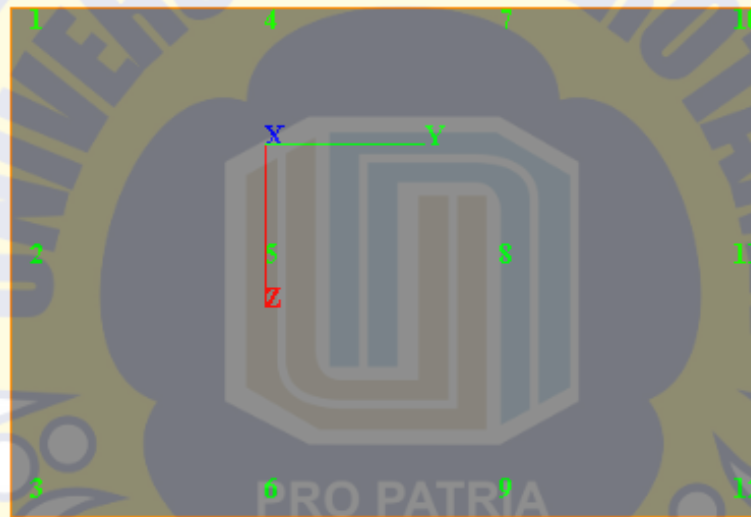
Kedalaman (m)	Qall (kN)	Qall (ton)
22	432.778	43.277
23	462.082	46.208
24	489.442	48.944
25	520.186	52.018
26	548.986	54.898
27	577.786	57.778
28	606.586	60.658
29	635.386	63.538

Pada fondasi kelompok tiang pancang dengan *square pile* 300 x 300 daya dukung ijin desainnya adalah 606.586 kN (Tabel 4.12). Namun pada hasil program Ensoft 2016 tiang nomor 1, 4 dan 7 beban yang bekerja melebihi daya dukung ijin desainnya yaitu sebesar 762.62 kN (Tabel 4.11). Maka $606.586 \text{ kN} < 762.62 \text{ kN}$ (*not ok*). Kemudian coba ditambahkan jumlah *pile* pada fondasi kelompok tiang, dari jumlah sebelumnya yaitu 9 *pile* menjadi 12 *pile* dengan menggunakan *pile cap* yang sama dan melakukan *input* pada program Ensoft 2016. Dapat diketahui *bending moment* yang terjadi dengan hasil *output* program dibawah ini (Tabel 4.13) :

Tabel 4. 13. Momen Lentur *Square Pile* 300 x 300 Dengan 12 *Pile* Dari Ensoft 2016

PILE	DISPL. y-DIR M	DISPL. z-DIR M	MOMENT z-DIR KN- M	MOMENT y-DIR KN- M
*****	*****	*****	*****	*****
1	-5.5437E-06	-1.5813E-04	-8.8592	-1.2047
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	1.1200
2	-4.4870E-06	-1.5813E-04	-7.9521	-1.2287
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	1.1200
3	-3.4678E-06	-1.5813E-04	-7.0120	-1.2576
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	1.1200
4	-5.4933E-06	-1.1417E-04	-8.9035	-1.1605
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.5600
5	-4.4335E-06	-1.1417E-04	-8.0051	-1.1690
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.8400
6	-3.4059E-06	-1.1417E-04	-7.0765	-1.1861
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.8400
7	-5.4737E-06	-7.0220E-05	-8.9236	-1.9246
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
8	-4.4187E-06	-7.0220E-05	-8.0301	-1.9250
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
9	-3.3887E-06	-7.0220E-05	-7.1092	-1.9235
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
10	-5.4872E-06	-2.6268E-05	-8.9164	-2.9983
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
11	-4.4494E-06	-2.6268E-05	-8.0223	-3.0307
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000
12	-3.3849E-06	-2.6268E-05	-7.0987	-3.0679
x(M)	3.0800	0.0000	0.0000	0.0000

Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa momen lentur terbesar yang terjadi pada fondasi kelompok tiang dengan menggunakan *square pile* 300 x 300 dengan jumlah *pile* 12 (Gambar 4-20) adalah 8.9236 kN-m. Sementara pada spesifikasi produk yang digunakan yaitu JHS, momen lentur yang diijinkan adalah sebesar 29.43 kN-m. sehingga $8.9236 \text{ kN-m} < 29.43 \text{ kN-m}$. Setelah momen lentur yang terjadi telah diketahui dan tidak melebihi momen lentur yang diijinkan, kemudian kontrol daya dukung ijin desainnya. Hasil *output* dari program Ensoft 2016 yaitu daya dukung fondasi kelompok tiang pancang disajikan pada data berikut ini (Tabel 4.14) :



Gambar 4- 20. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang Dengan 12 *Pile*

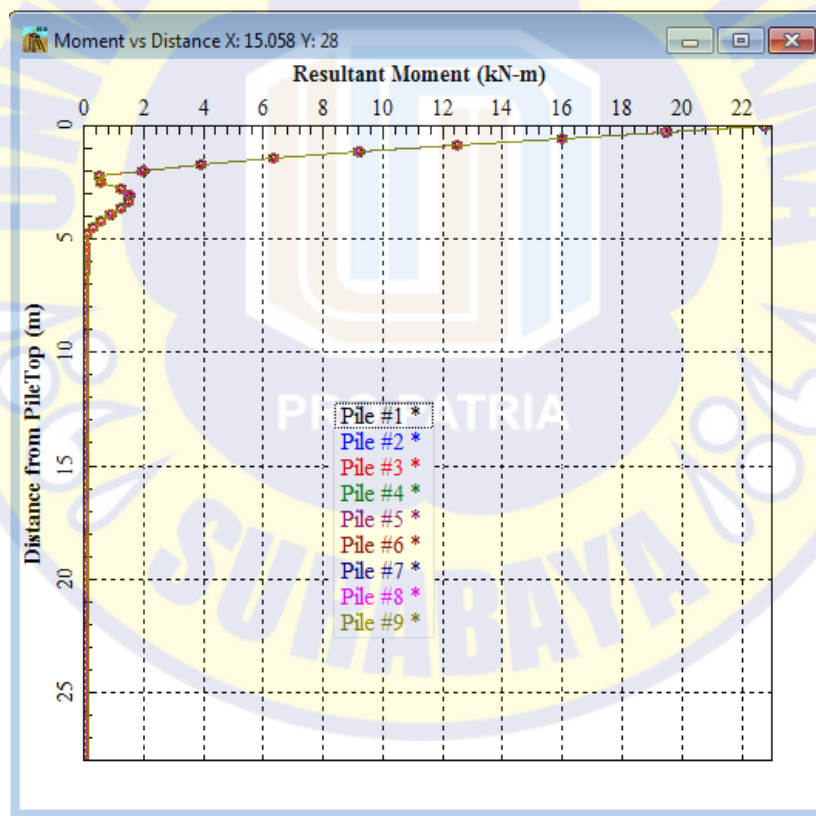
Tabel 4. 14. Daya Dukung *Square Pile* 300 x 300 Dengan 12 *Pile* Dari Ensoft 2016

* PILE TOP REACTIONS *	
PILE GROUP	FOR. X, KN
*****	*****
1	639.22
2	511.54
3	383.86
4	513.39
5	385.71
6	258.03
7	387.56
8	259.88
9	117.53
10	261.73
11	119.86
12	-40.301

Dari hasil program Ensoft 2016 didapatkan nilai daya dukung paling besar yaitu pada tiang nomor 1 yaitu sebesar 639.22 kN yang berarti melebihi daya dukung ijin desainnya (Tabel 4.12) maka $639.22 \text{ kN} > 606.586 \text{ kN}$ (*not ok*). Maka kelompok fondasi tiang pancang dengan *square pile* 300 x 300 tidak mampu menahan beban yang terjadi pada *Tower Crane*.

4.10.2 Hasil Program Ensoft 2016 Pada *Square Pile* 400 x 400

Dari hasil analisis program, didapatkan hasil berupa defleksi dan momen lentur yang terjadi (Gambar 4-21) di setiap tiang pancang pada fondasi kelompok tiang, adalah sebagai berikut :



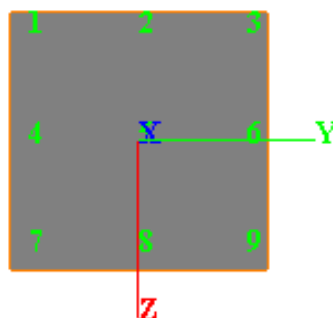
Gambar 4- 21. Grafik Momen Vs Jarak Tiang Atas *Square Pile* 400 x 400

Sama seperti *square pile* 300 x 300, dapat diketahui *bending moment* yang terjadi pada *square pile* 400 x 400 hasil *output* program Ensoft 2016 dibawah ini (Tabel 4.15) :

Tabel 4. 15. Momen Lentur *Square Pile* 400 x 400 Dari Ensoft 2016

PILE	DISPL. y-DIR M	DISPL. Z-DIR M	MOMENT Z-DIR KN- M	MOMENT y-DIR KN- M
*****	*****	*****	*****	*****
1	-1.7266E-04	0.0000	-22.724	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	-1.7266E-04	0.0000	-22.769	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-1.7266E-04	0.0000	-22.814	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	-1.7266E-04	0.0000	-22.724	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-1.7266E-04	0.0000	-22.769	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	-1.7266E-04	0.0000	-22.814	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	-1.7266E-04	0.0000	-22.724	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	-1.7266E-04	0.0000	-22.769	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	-1.7266E-04	0.0000	-22.814	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Dari hasil *output* program Ensoft 2016 diatas dapat diketahui bahwa momen lentur terbesar yang terjadi pada fondasi kelompok tiang *square pile* 400 x 400 dengan 9 tiang (Gambar 4-22) adalah 22.814 kN-m. Sementara pada spesifikasi produk yang digunakan yaitu JHS, momen lentur yang diijinkan adalah sebesar 70.04 kN-m. Sehingga $22.814 \text{ kN-m} < 70.04 \text{ kN-m}$. Jadi momen lentur pada fondasi kelompok tiang pancang tidak melebihi momen lentur yang diijinkan. Setelah momen lentur yang terjadi telah diketahui dan tidak melebihi momen lentur desainnya, kemudian kontrol daya dukung ijin desainnya. Hasil *output* dari program Ensoft 2016 (Tabel 4.16) yaitu daya dukung fondasi kelompok tiang pancang dan daya dukung ijin fondasi (Tabel 4.17) disajikan pada data diberikut ini :



Gambar 4- 22. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang

Tabel 4. 16. Daya Dukung *Square Pile* 400 x 400 Dari Ensoft 2016

* PILE TOP REACTIONS *	
PILE GROUP	AXIAL, KN
*****	*****
1	765.00
2	424.60
3	76.399
4	765.00
5	424.60
6	76.399
7	765.00
8	424.60
9	76.399

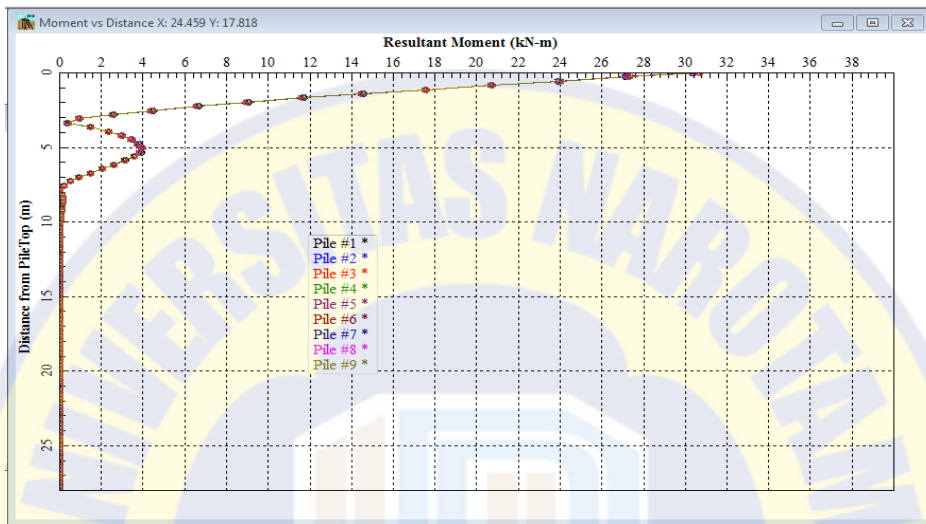
Tabel 4. 17. Daya Dukung Ijin Desain *Square Pile* 400 x 400

Kedalaman (m)	ΔH (m)	Qall (kN)	Qall (ton)
22	1	592.588	59.258
23	1	632.524	63.252
24	1	669.004	66.900
25	1	710.860	71.086
26	1	749.260	74.926
27	1	787.660	78.766
28	1	826.060	82.606
29	1	864.460	86.446

Pada fondasi kelompok tiang pancang dengan *square pile* 400 x 400 daya dukung ijin desainnya adalah 826.060 kN (Tabel 4.17). Pada hasil program Ensoft 2016 tiang nomor 1, 4 dan 7 beban yang bekerja yaitu sebesar 765 kN (Tabel 4.16) maka 826.060 kN > 765 kN (*ok*). Jadi, kelompok fondasi tiang pancang dengan *square pile* 400 x 400 mampu menahan beban yang terjadi pada *Tower Crane* dengan kedalaman tiang pancang 28 m.

4.10.3 Hasil Program Ensoft 2016 Pada *Spun Pile* Diameter 500

Dari hasil analisis program, didapatkan hasil berupa defleksi dan momen lentur yang terjadi di setiap tiang pancang pada fondasi kelompok tiang dapat dilihat dibawah ini (Gambar 4-23) :



Gambar 4- 23. Grafik Momen Vs Jarak Tiang Atas Pada *Spun Pile* Dia. 500

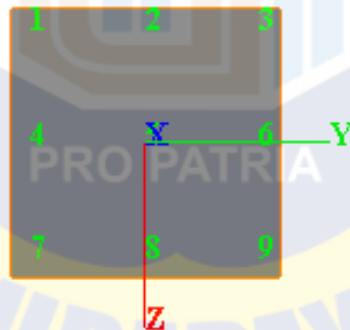
Pada *spun pile* ini langkah yang dilakukan sama dengan langkah-langkah pada *square pile*, yang membedakan hanya jenis tiang panjang. *Output* program Ensoft 2016 pada *spun pile* diameter 500 dapat dilihat dibawah ini (Tabel 4.18) :

Tabel 4. 18. Momen Lentur *Spun Pile* Diameter 500 Dari Ensoft 2016

* MINIMUM VALUES AND LOCATIONS *

PILE	DISPL. y-DIR M	DISPL. z-DIR M	MOMENT z-DIR KN- M	MOMENT y-DIR KN- M
*****	*****	*****	*****	*****
1	-7.8531E-04	0.0000	-31.491	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	-7.8531E-04	0.0000	-31.583	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-7.8531E-04	0.0000	-31.718	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	-7.8531E-04	0.0000	-31.491	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-7.8531E-04	0.0000	-31.583	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	-7.8531E-04	0.0000	-31.718	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	-7.8531E-04	0.0000	-31.491	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	-7.8531E-04	0.0000	-31.583	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	-7.8531E-04	0.0000	-31.718	0.0000
x(M)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Dari hasil *output* program Ensoft 2016 pada Tabel 4.18 dapat diketahui bahwa momen lentur terbesar yang terjadi pada fondasi kelompok tiang dengan menggunakan *spun pile* diameter 500 adalah 31.718 kN-m. Sementara dari hasil analisa dengan program *pcaColumn* (Gambar 4-7) momen lentur yang terjadi sebesar 190 kN-m. Sehingga $31.718 \text{ kN-m} < 190 \text{ kN-m}$. Jadi momen lentur pada fondasi kelompok tiang pancang *spun pile* diameter 500 dengan 9 tiang (Gambar 4-24) menggunakan *spun pile* diameter 500 tidak melebihi momen lentur yang diijinkan. Setelah momen lentur yang terjadi telah diketahui dan tidak melebihi momen lentur desainnya, kemudian kontrol daya dukung ijin desainnya. Hasil *output* dari program Ensoft 2016 (Tabel 4.19) yaitu daya dukung ijin fondasi kelompok tiang pancang dan daya dukung ijin fondasi disajikan pada data berikut ini (Tabel 4.19) :



Gambar 4- 24. Tampak Atas Fondasi Kelompok Tiang

Tabel 4. 19. Daya Dukung *Spun Pile* Dia. 500 Dari Ensoft 2016

PILE GROUP	FOR. X, KN
1	758.97
2	429.05
3	77.978
4	758.97
5	429.05
6	77.978
7	758.97
8	429.05
9	77.978

Tabel 4. 20. Daya Dukung Ijin Desain *Spun Pile* Diameter 500

Kedalaman (m)	Qall (kN)	Qall (ton)
22	596.640	59.664
23	636.670	63.667
24	672.466	67.246
25	714.380	71.438
26	752.060	75.206
27	789.740	78.974
28	827.420	82.742
29	865.100	86.510

Pada fondasi kelompok tiang pancang dengan *spun pile* diameter 500 daya dukung ijin desainnya adalah 827.420 kN (Tabel 4.20). Namun pada hasil program Ensoft 2016 tiang nomor 1, 4 dan 7 beban yang bekerja yaitu sebesar 758.97 kN (Tabel 4.19). Maka $827.420 \text{ kN} > 758.97 \text{ kN}$ (*ok*). Jadi, kelompok fondasi tiang pancang dengan *spun pile* diameter 500 mampu menahan beban yang terjadi pada *Tower Crane* dengan kedalaman tiang pancang 28 m.