

Analisis Kinerja Aksial Dan Horizontal Tiang Pancang Pada Rumah Susun Universitas Negeri Medan Menggunakan Metode Analitis

Muhammad Ali Ihsan

¹Program Studi Teknik Sipil, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

aliihsan@gmail.com

Abstrak

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997). Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi dan penurunan pondasi yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya dukung aksial dan horizontal pondasi tiang pancang secara analitis maupun numeris dengan pengujian tes di lapangan atau Pile Driving Analyzer (PDA) atau CAPWAP. Secara analitis, perhitungan daya dukung aksial dilakukan dengan menggunakan metode Mayerhof (1976), Briaud Et Al, Tomlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang. Sedangkan untuk menganalisis daya dukung horizontal pondasi tiang pancang menggunakan metode Broms untuk mengetahui besarnya gaya lateral berdasarkan data-data dari lapangan yaitu SPT, sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan program All Pile. Perhitungan dilakukan pada titik pengujian SPT yaitu titik BH1 yang akan diverifikasi dengan pengujian PDA atau CAPWAP pada Proyek Pembangunan Rumah Susun UNIMED. Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof 1976 = 98.48 ton Briaud et all = 110.16 ton Thomlinson = 78.527 ton hasil computer = 494,51 ton dan daya dukung horizontal tiang pancang panjang ujung bebas yaitu $H_u = 4742.91$ kg, sedangkan tiang pancang panjang ujung terjepit yaitu $H_u = 7853.19$ kg, perhitungan komputer untuk tiang pancang deflection = 0.127 cm.

Kata Kunci: *Pondasi tiang pancang, SPT, daya dukung aksial, daya dukung horizontal, Allpile.*

1. PENDAHULUAN

Analisis geoteknik adalah suatu kegiatan dalam bidang geoteknik yang dilakukan untuk memperoleh sifat dan karakteristik tanah untuk kepentingan rekayasa (engineering). Ada dua jenis analisis geoteknik yang dilakukan yaitu (1) penyelidikan lapangan (in situ test) dan (2) penyelidikan laboratorium (laboratory test). penyelidikan lapangan umumnya terdiri machine boring, SPT (standard penetration test), CPT (cone penetration test), DCP (dynamic cone penetration), pressuremeter test (PTM), dilatometer test (DMT), field permeability test, dll.

Secara umum, perencanaan pondasi tiang mencakup daya dukung sebagai end bearing pile (daya dukung ujung) maupun friction pile (daya dukung gesek). Sifat tanah yang variabel sebelumnya atau gerakan tanah yang terjadi kemudian (umpamanya oleh gempa) dapat menyebabkan penurunan-penurunan berlebihan.

Pondasi sangat penting dalam suatu pekerjaan teknik sipil dalam hal ini pekerjaan suatu struktur bangunan. Bentuk dan struktur tanah juga berperan dalam suatu pekerjaan konstruksi untuk menentukan jenis pondasi tersebut, hal ini disebabkan karena kondisi ketidaktentuan dari struktur tanah itu sendiri.

Sebelum melaksanakan suatu pembangunan konstruksi yang pertama-tama dilaksanakan dilapangan dan dikerjakan di lapangan adalah pekerjaan pondasi (struktur bawah).

Tiang pancang adalah awal dari pekerjaan struktur yang sering terjadi masalah, mulai dari kondisi tanah yang tidak sama dari rencana, tanah yang basah karena musim hujan atau adanya sumber air tanah alat pancang menggunakan system lama yang menimbulkan suara dan polusi dan lain sebagainya. Tiang Pancang Sistem Hidrolik (Hydraulic Jack In) adalah suatu metode pemancangan pondasi tiang dengan menggunakan mekanisme hydraulic jacking foundation system, dimana sistem ini telah mendapatkan hak paten dari United States, United Kingdom, China dan New Zealand.

Sistem ini terdiri dari suatu hydraulic ram yang ditempatkan paralel dengan tiang yang akan dipancang, dimana untuk menekan tiang tersebut ditempatkan sebuah mekanisme berupa plat penekan yang berada pada puncak tiang dan juga ditempatkan sebuah mekanisme pemegang (grip) tiang, kemudian tiang ditekan ke dalam tanah. Dengan sistem ini tiang akan tertekan secara kontiniu ke dalam tanah, tanpa suara, tanpa pukulan dan tanpa getaran Adapun pengujian langsung kapasitas daya dukung di lapangan yaitu Pile Driving Analyzer (PDA) dan Loading Test. Tiang pancang berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan menahan beban struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan daya dukung tiang. Selain itu kapasitas daya dukung juga dapat di analisa dengan bantuan program.

Sedangkan gaya lateral sering terjadi pada bangunan, salah satunya adalah beban yang ditimbulkan akibat gempa. Pondasi sendiri memiliki peran yang sangat penting pada suatu gedung, fungsi utama pondasi ialah menyalurkan beban vertical struktur yang bekerja diatasnya untuk disalurkan ke tanah dasar, selain menahan beban vertical pondasi juga menyalurkan beban horizontal dari tekanan tanah samping dan beban-beban yang bekerja secara horizontal.

Untuk menyalurkan beban pondasi melewati lapisan tanah dengan daya dukung rendah ke lapisan tanah keras yang mempunyai daya dukung cukup tinggi dan relative cukup dalam dibanding pondasi dangkal.

2. METODE PENELITIAN

Data Umum

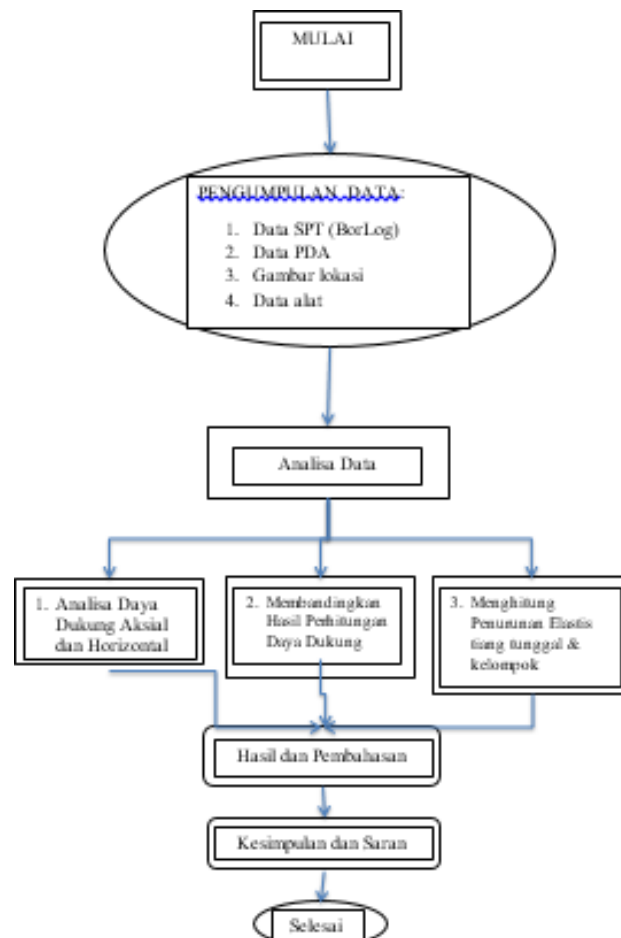
Data umum dari proyek pembangunan Rumah Susun Unimed Medan adalah sebagai berikut :

Nama Proyek : Rumah Susun Unimed Medan
Lokasi Proyek : Jl.William Iskandar - Medan
Sifat Kontrak : Unit Price
Konsultan : PT. Medan Geoteknik
Kontraktor Utama : PT. Razasa Karya
Waktu Pelaksanaan : 120 hari kerja kalender

Data Teknis Tiang Pancang

Data ini diperoleh dari pihak kontraktor dengan data sebagai berikut :

1. Panjang Tiang Pancang : 16 m
2. Dimensi Tiang Pancang : 250x250mm
3. Mutu Beton Tiang Pancang : K-300
4. Mutu Baja: - D (ulir) : BJTD 40- \emptyset (polos) : BJTP 24
5. Diameter Tulangan : D16:D10danD5,5 (Spiral)
6. Jumlah Tulangan Utama : 4 batang \emptyset 16
7. Jumlah Strain : 4 batang \emptyset 5,5



Gambar 1. Alur Penelitian

3. HASIL

Menghitung Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal.

Metode Meyerhof 1976 .

Pada Kedalaman 16 m.

$$\text{Dimensi tiang (D)} = 25 \times 25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling tiang pancang (p)} &= 4 \times 25 \text{ cm} \\ &= 100 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tiang pancang (A}_p\text{)} &= P \times L \\ &= 25 \times 25 \\ &= 625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai N}_{spt} = 28$$

$$\text{Jenis Tanah} = \text{Non kohesif}$$

Daya dukung ujung pondasi tiang pancang (*end bearing*), (Meyerhof, 1976). Untuk tanah Non kohesif :

$$Q_p = C \times N \times A_p \text{ syarat } C \geq 40$$

Menurut Meyerhof 1976 nilai c untuk tanah pasir adalah 40.

$$Q_p = 40 \times 28 \times 0,0625 = 70 \text{ ton}$$

Daya dukung selimut tiang pancang (*skin friction*), (Meyerhof, 1976). Untuk tanah Non kohesif :

$$Q_s = \frac{N^f \times A_s}{5}$$

$$\begin{aligned} A_s &= D \times L \\ &= 0,25 \times 4 \times 16 \\ &= 16 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N' &= \frac{N_0 + N_1}{n} \\ &= \frac{5+8+8+3+4+7+9+9+8+28}{10} = 8,9 \end{aligned}$$

$$Q_s = \frac{8,9 \times 16}{5} = 28,48 \text{ ton}$$

Maka daya dukung ultimate tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode Meyerhof 1976, yaitu;

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 70 + 28,48 \\ &= 98,48 \text{ ton.} \end{aligned}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{F_s} = \frac{98,48}{2,5}$$

$$Q_{all} = 39,39 \text{ ton.}$$

Metode Briaud et all

Pada Kedalaman 16m.

$$\text{Dimensi tiang (D)} = 25 \times 25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling tiang (p)} &= 4 \times 25 \text{ cm} \\ &= 100 \text{ cm} = 1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tiang (A}_p\text{)} &= P \times L \\ &= 25 \times 25 \\ &= 625 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Nilai N}_{spt} = 28$$

Daya dukung ujung pondasi tiang pancang (*end bearing*), (Briaud et all).

$$Q_P = q_p \cdot A_p$$

$$q_p = 19,7 \cdot \sigma_r \cdot (\bar{N}_0)^{0,36}$$

$$q_p = 19,7 \cdot 10,197 \cdot (13,65)^{0,36}$$

$$= 514,738 \text{ ton}$$

$$QP = q_p \cdot A_p$$

$$QP = 514,738 \cdot 0,0625$$

$$QP = 32,17 \text{ ton}$$

Daya dukung selimut tiang pancang (skin friction), (Briaud et all).

$$Q_s = F_{Av} \cdot A_s$$

$$F_{Av} = 0,224 \cdot Pa \cdot (\bar{N}_{60})^{0,29}$$

$$F_{Av} = 0,224 \cdot 10,197 \cdot (13,65)^{0,29}$$

$$F_{Av} = 4,874 \text{ ton}$$

$$Q_s = F_{Av} \cdot A_s$$

$$Q_s = 4,874 \cdot (0,25 \times 4 \times 1)$$

$$Q_s = 77,99 \text{ ton}$$

Maka daya dukung ultimate tiang pancang tunggal dengan menggunakan metode Briaud et all, yaitu;

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 32,17 + 77,99$$

$$= 110,16 \text{ ton.}$$

$$\frac{Q_u}{F_s} = \frac{77,99}{2,5}$$

$$Q_{all} = 44,06 \text{ ton}$$

$$Q_{all} = 44,06 \text{ ton}$$

Menghitung daya dukung lateral tiang tunggal dengan ujung tiang dianggap bebas metode Broms.

Menentukan Tiang Panjang Atau Pendek

$$\beta = \left(\frac{Kh \cdot d}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{1/4}$$

$$\beta = \left(\frac{1,8,25}{4 \cdot 235000 \cdot 32552,08} \right)^{1/4} = 0,0006192649 \text{ cm}$$

Tahanan momen (w)

$$W = \frac{I_p}{b/2} = \frac{32552,08}{25/2} = 2604,166 \text{ cm}^3$$

$$fb = 0,40 \times fc' = 0,40 \times 25 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

Momen Maksimum Tiang

$$M_y = fb \cdot W = 100 \times 2604,17$$

$$= 260416,67 \text{ kg.cm (pers1)}$$

Menentukan nilai Hu

$$H_u = \frac{M_y}{\left(e + 3 \frac{d}{2} + \frac{1}{2} f \right)}$$

$$F = \frac{H_u}{9Cu \cdot b}$$

$$F = \frac{H_u}{9 \times 0,605 \times 25}$$

$$= \frac{H_u}{136} = H_u \times \frac{1}{136} = H_u \times 0,00735$$

$$H_u = \frac{260416,67}{\left(0 + 3 \times \frac{25}{2} + \frac{1}{2} \times (0,00735 \times H_u) \right)}$$

$$Hu(37.5 + 0.00367 \cdot Hu) = 260416.67$$

$$37.5 Hu + 0.00367 Hu^2 - 260416.67 = 0$$

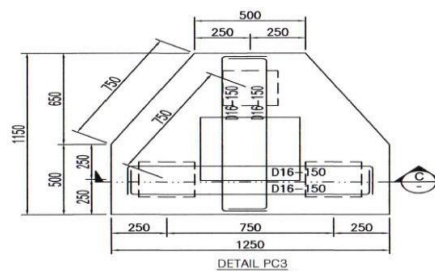
$$[0.00367.Hu^2 + 37.5.Hu - 260416.67]=0$$

$$\frac{0.00367}{0.00367} H Hu^2 + 10217,98.Hu - 70958220,71 = 0$$

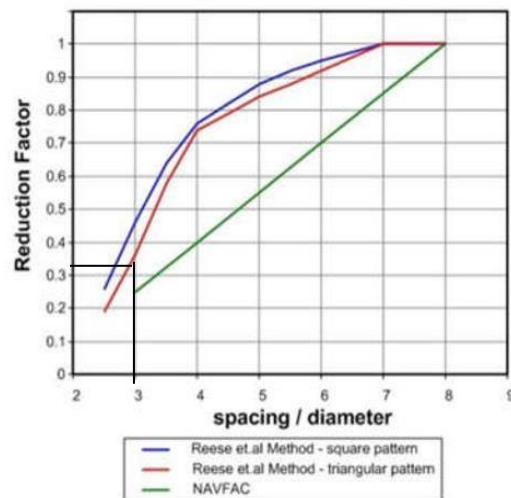
$$Hu = 4742.91 \text{ kg}$$

Menghitung daya dukung lateral tiang kelompok dengan ujung tiang dianggap bebas.

Taksiran kapasitas tahanan lateral maksimum pondasi tiang ini digunakan metode reese et all. Kapasitas pondasi tiang group dipengaruhi jumlah dan jarak spasi tiang group serta dipengaruhi factor reduksi berdasarkan jarak spasi.



Gambar 2 Pile Cap.



Gambar 3 Grafik nilai reduce faktor pada spasing/diameter 3.D.

$$Q (\text{grup}) = n \times Q (\text{single, reduce})$$

$$= 3 \times 4742.91 \times 0,35$$

$$= 4980,06 \text{ kg}$$

Menghitung daya dukung lateral tiang tunggal dengan ujung tiang dianggap jepit metode Broms.

Tahanan momen (w)

$$W = \frac{I_p}{b/2} = \frac{32552,08}{25/2} = 2604,166 \text{ cm}^3$$

$$fb = 0,40 \times fc' = 0,40 \times 25 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

Momen maksimum tiang

$$My = fb.W$$

$$= 100 \times 2604,17$$

$$= 260416,67 \text{ kg.cm (pers1)}$$

Menentukan nilai Hu

$$Hu = \frac{2My}{(e+3\frac{d}{2}+\frac{1}{2}f)}$$

$$F = \frac{Hu}{9Cu.b}$$

$$F = \frac{9 \times 0,605 \times 25}{Hu} = Hu \times \frac{1}{136}$$

$$= Hu \times 0,00735$$

$$Hu = \frac{2 \times 260416,67}{(0+3 \times \frac{25}{2} + \frac{1}{2} \times (0,00735 \times Hu))}$$

$$Hu(37.5 + 0.00367 \cdot Hu) = 520833.33$$

$$37.5 Hu + 0.00367 Hu^2 - 520833.33 = 0$$

$$[0.00367 \cdot Hu^2 + 37.5 \cdot Hu - 520833.33] = 0$$

$$\frac{0.00367}{Hu^2 + 10217,98 \cdot Hu - 141916438,7} = 0$$

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$Hu = \frac{-10217,98 \pm \sqrt{10217,98^2 - 4 \times 1 \times (141916438,7)}}{2 \times 1}$$

$$Hu = 7853.19 \text{ kg}$$

Dari $Hu_1 = 7853,19 \text{ kg}$ dan $Hu_2 = -18071,17 \text{ kg}$ digunakan $Hu = 7853,19 \text{ kg}$.

4. PEMBAHASAN

Hasil Analisis Aplikasi.

Untuk mendapatkan reaksi pada pile cap 21 maka reaksi hasil output sap 2000 ditambah dengan beban timbunan tanah, maka diperoleh beban yang bekerja pada pilecap 3, dapat dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9:

Tabel 1: Beban timbunan pile cap.

Jenis Struktur (m')	Luasan (m')	Tinggi Tiang (m')	Volume (m')	Berat Jenis Tanah Timbunan (kn/m')
Pc3 luasan 1	0.625	0.60	0.3745	0.675
Pc3 luasan 2	0.325	0.60	0.195	0.351
Pc3 luasan 3	0.08125	0.60	0.04875	0.087750
Pc3 luasan 4	0.08125	0.60	0.04875	0.087750
Total				1.2015 ton
10.6895 kn				

Tabel 2: Beban timbunan pile cap.

Jenis Struktur (m ²)	Luasan (m ²)	Tinggi Tiang (m)	Volume (m ³)	Berat Jenis Tanah Timbunan (kn/m ³)
Pc3 luasan 1	0.625	0.60	0.3745	0.675
Pc3 luasan 2	0.325	0.60	0.195	0.351
Pc3 luasan 3	0.08125	0.60	0.04875	0.087750
Pc3 luasan 4	0.08125	0.60	0.04875	0.087750
Total				1.2015 ton
10.6895 kn				

Tabel 3: Beban Yang Bekerja Pada Pile Cap 3.

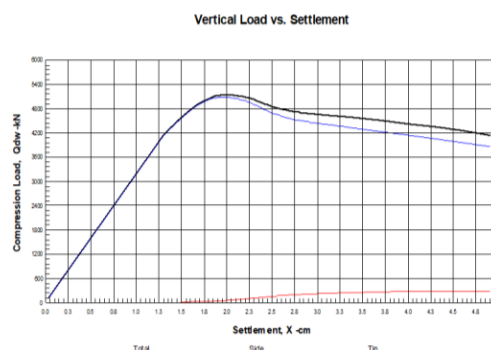
No. Joint	F1	F3	M2	M3
40	38.279	1047.39	79.711	17.894

Tabel 4: Beban Yang Bekerja Pada Tiang Tunggal.

No. Joint	F1	F3	M2	M3
40	12.76	349.13	26.57	5.965

Analisis Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal.

Hasil analisis grafik perbandingan antara beban yang bekerja pada tiang dengan penurunan yang terjadi, Setelah semua komponen diisi pada software maka langkah selanjutnya klik ikon vertical untuk mengetahui daya dukung tiang tunggal menggunakan software. Lalu pilih load-settlement untuk mengetahui grafik perbandingan beban yang bekerja dengan penurunan yang terjadi.



Gambar 4 Grafik vertical tiang tunggal load vs settlement program Allpile.

Analisa Daya Dukung lateral Tiang tunggal.

Cara menganalisa daya dukung horizontal pada tiang tunggal sama seperti mencari daya dukung vertical hanya saja ikon yang di klik adalah lateral nya. Setelah di klik maka akan muncul hasil summary report nya, yaitu;

1. Top deflection : 1.27 cm
2. Max momen : 35.2 kn.m
3. Top shear : 12.76 kn
4. Allowable deflection : 2.5 cm

```

PILE PROFILES:
  Pile Length, L= 16.0 -m
  Top Height, H= -0.6 -m
  Slope Angle, As= 0.0
  Batter Angle, Ab= 0.00

FACTORS AND CONDITIONS:
  Load Factor for Vertical Loads: 1.0    1.0
  Load Factor for Lateral Loads: 1.0
  Loads Supported by Pile Cap: 0 %
  Shear Condition: Static

SINGLE PILE:
  Deduction factor due to Group Effect, R= 1.00
  Vertical Load= 349.13 -kN
  Shear= 12.76 -kN
  Moment= 26.57 -kN-m

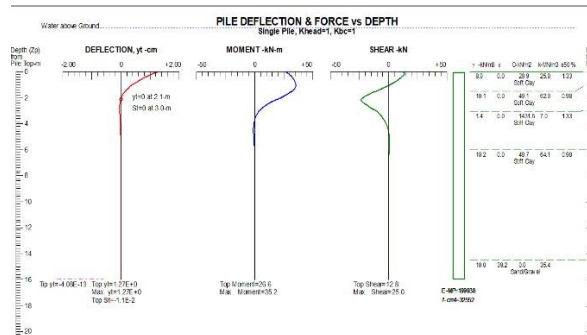
Results:
  Top Deflection, yt= 1.27000-cm
  Max. Moment, M= 35.20-kN-m
  Top Deflection Slope, St= -0.01100

  Top Deflection, 1.2700-cm, OK with the Allowable Deflection= 2.50-cm
    
```

Gambar 5: Hasil Summary Report Lateral tiang tunggal Program Allpile.

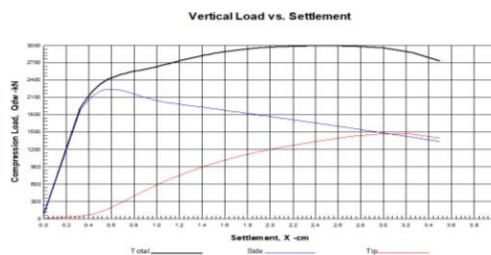
Grafik Hasil Deflection, Moment dan Shear
 Dimana:

1. Top deflection : 0.127 cm
2. Max deflection : 0.127 cm
3. Top momen : 26.6 kn.m
4. Max momen : 35.2 kn.m
5. Top shear : 12.8 kn
6. Max shear : 25 kn



Gambar 6 Grafik analisis tiang tunggal lateral pile deflection & force vs depth.

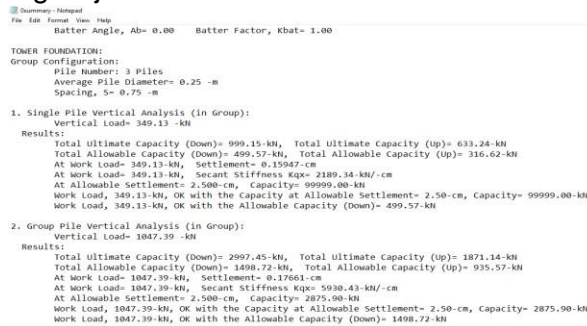
Analisis Daya Dukung Aksial Tiang Kelompok



Gambar 7 Grafik vertical load Vs Settlement

Dari seluruh data yang telah dimasukkan maka di dapat hasil summary report sebagai berikut:

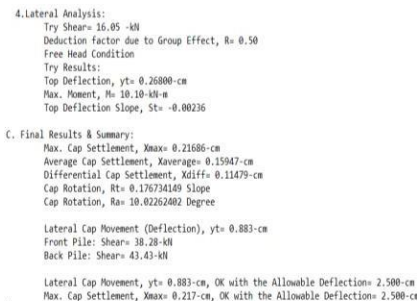
1. Beban Aksial Bekerja : 1047.39 kn
2. Total Daya Dukung Ultimate : 2875.90 kn
3. Daya Dukung Ijin : 1498.72 kn
4. Settlement yang terjadi : 0.17661 cm
5. Penurunan Yang Diijinkan : 2.5 cm



Gambar 8 Hasil summary report vertical tiang kelompok allpile.

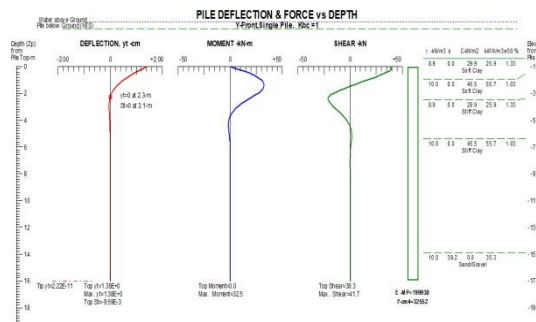
Analisis Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok.

1. Hasil summary report
2. Top deflection : 0.883 cm
3. Cap rotation : 0.176
4. Top shear front : 38.28 kn
5. Top shear back : 43.43 kn
6. Allowable deflection : 2.5 cm



Gambar 9 : Hasil summary report lateral allpile.

Grafik hasil analisis all pile untuk daya dukung aksial dan horizontal tiang kelompok.



Gambar 10: Grafik analisis lateral pile deflectin & force vs dpeth

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan pada data dari proyek rumah susun unimed medan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan kapasitas daya dukung aksial dan horizontal tiang pancang tunggal dan kelompok. Maka didapati hasil sebagai berikut:
 - 1.1. Daya dukung aksial tiang tunggal dan kelompok
 - Daya dukung aksial tiang tunggal.
Maka daya dukung ultimate untuk metode, Mayerhof 1976 = 98.48 ton, Briaud et all = 110.16 ton, Thomlinson = 78.52 ton, Hasil Komputer = 494.51 ton. Untuk daya dukung ijin Mayerhof = 39.39 ton, Briaud et all = 44.06 ton, Thomlinson = 31.41 ton, Hasil Komputer = 262.11 ton.
 - Daya dukung aksial tiang kelompok (*converse labare*).
Maka daya dukung aksial tiang kelompok dengan metode, Mayerhof = 101.63 ton, Briaud et all = 113.67 ton, Thomlinson = 81 ton, Hasil Komputer = 394.3 ton.
 - 1.2. Daya dukung horizontal tiang tunggal dan kelompok.
Dari beberapa percobaan diatas didapati hasil daya dukung horizontal yang dapat ditahan oleh tiang pancang panjang ujung bebas yaitu $H_u = 4742.91$ kg, sedangkan tiang pancang panjang ujung terjepit yaitu $H_u = 7853.19$ kg. Terlihat bahwa tiang pancang panjang ujung bebas < tiang pancang panjang ujung terjepit, untuk metode grafik terdapat perbedaan yang tidak terlalu jauh hanya saja dalam penggunaan grafik hasil yang di dapat terlalu kecil untuk tiang panjang ujung bebas yaitu $H_u = 4726.56$ kg, sedangkan tiang panjang ujung jepit $H_u = 7751.56$ kg, sehingga dalam hal ini tiang pancang ujung terjepit lebih aman digunakan untuk menahan gaya lateral ultimit yang bisa ditahan oleh tiang. Begitu pula untuk tiang kelompok tiang panjang ujung bebas yaitu $H_u = 4980.06$ kg, sedangkan tiang panjang ujung terjepit $H_u = 8945.85$ kg. Dalam menggunakan perhitungan komputer untuk tiang tunggal terjadi deflection (tekuk) yaitu = 0.127 cm dan untuk tiang kelompok terjadi deflection yaitu = 0.833 cm.
2. Hasil Perbandingan :
 - 2.1. Kapasitas daya dukung tiang pancang yang di hitung secara numeric pada kedalaman 16 m, dengan metode, Mayerhof 1976 = 39.39 ton, Briaud et all = 44.06 ton, Thomlinson = 31.41 ton. Dapat disimpulkan bahwa metode adalah metode yang paling mendekati dengan nilai PDA = 82 ton.
 - 2.2. Hasil analisis aplikasi dari data *Standart Penetration Test* (SPT) sebesar 262.11 ton dan hasil *Pile Driving Analyzer* (PDA) dilapangan 82 ton. Perbedaan ini terjadi begitu jauh alasannya dalam analisis aplikasi terdapat beban-beban hasil running sap yang dimasukkan walaupun begitu menurut aplikasi dikatakan aman.
3. Hasil perhitungan penurunan tiang tunggal untuk metode Mayerhof = 0.0194 m, Thomlinson = 0.0183 m, Briaud et all = 0.0178 m, Hasil Komputer 0.0102 m. dari data diatas dapat disimpulkan hasil komputer yang memiliki nilai paling mendekati PDA = 0.001 m karena penurunan tiang tunggal ≤ 0.025 m dimana semua metode memiliki nilai dibawah control penurunan tiang. Dan penurunan tiang kelompok (*converse labare*) untuk metode Mayerhof = 0.033 m, Tomlinson = 0.032 m, Briaud et all = 0.031 m, Hasil Komputer 0.0177 m.

REFERENSI

- Amrizal, A., & Lisra, J. (2016). Kajian Kelayakan Ekonomi Pembangunan Jembatan Layang Simpang Selayang Kota Medan. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(1).
- Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Efrida, R., Putra, T. A., & Utami, C. (2019). Pembangunan Irigasi Air Tanah Dangkal Untuk Peningkatan Produktivitas Usaha Tani Desa Sambirejo Kabupaten Langkat. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 1(2), 196-202.
- Efrida, R., & Utami, C. (2019). EVALUASI KINERJA DINDING PENGISI BATA MERAH DENGAN OPENINGS PADA STRUKTUR BETON BERTULANG AKIBAT BEBAN GEMPA KUAT. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 24-29.
- Faisal, A. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.
- Faisal, A., Majid, T. A., Ahmad, F., Tongkul, F., & Sari, S. M. (2011). Influence of large dam on seismic hazard in low seismic region of Ulu Padas Area, Northern Borneo. *Natural hazards*, 59(1), 237-269.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Gunawan, R. (2006). Analisis Sumber Daya Air Daerah Aliran Sungai Bah Bolon Sebagai sarana Pendukung Pengembangan Wilayah di Kabupaten Simalungun dan Asahan. *WAHANA HIJAU Jurnal Perencanaan & Pengembangan Wilayah*, 2(1).
- Hadipramana, J., & Syahputra, J. (2021). PERBANDINGAN SIMULASI GAYA AKSIAL DAN LATERAL PLAIN WALL BETON RINGAN ANTARA CAMPURAN STYROFOAM DENGAN LAPISAN COATING DAN ABU SEKAM PADI DENGAN FLY ASH. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Ahmad Mujahid, A. Z., Mohammad, N., & Riza, F. V. (2013). Effect of uncontrolled burning rice husk ash in foamed concrete. In *Advanced Materials Research (Vol. 626, pp. 769-775)*. Trans Tech Publications Ltd.
- Hadipramana, J., Samad, A. A. A., Zaidi, A. M. A., Mohammad, N., & Ali, N. (2013). Contribution of polypropylene fibre in improving strength of foamed concrete. In *Advanced Materials Research (Vol. 626, pp. 762-768)*. Trans Tech Publications Ltd.
- Harahap, M., Siregar, G., & Riza, F. V. (2021). Mapping The Potential Of Village Agricultural Social Economic Improvement Efforts In Lubuk Kertang Village Kecamatan Berandan Barat Kabupaten Langkat. *JASc (Journal of Agribusiness Sciences)*, 4(1), 8-14.
- Majid, T. A., Wan, H. W., Zaini, S. S., Faisal, A., & Wong, Z. M. (2010). The effect of ground motion on non-linear performance of asymmetrical reinforced concrete frames. *Disaster Advances*, 3(4), 35-39.
- Nurzanah, W. (2019). Penentuan Lokasi Pembuangan Material Keruk Alur Pelayaran Pelabuhan Belawan dengan Sistem Informasi Geografis. *Buletin Utama Teknik*, 14(2), 80-91.
- Nurzanah, W. (2021). SUMUR RESAPAN UNTUK PEMANENAN AIRHUJAN DI KECAMATAN MEDAN BELAWAN. *AI Ulum*, 9(1), 1-7.

- Nurzanah, W. (2020). ANALISA WAKTU TUNGGU BONGKAR MUAT KAPAL DENGAN FASILITAS CRANE DI PELABUHAN GABION BELAWAN. *Buletin Utama Teknik*, 15(2), 180-190.
- Pane, Y. Desi Sri Pasca Sari Sembiring, Suhelmi Suhelmi (2021), Pemanfaatan Limbah Steel Slag Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dalam Perancangan Mutu Beton Normal, *AFoSJ-LAS: Journal All Field of Science J-LAS*, 1 (2), 7-13.
- Pane, Y., Sembiring, D. S. P. S., & Suhelmi, S. (2021). PEMANFAATAN LIMBAH STEEL SLAG SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR DALAM PERANCANGAN MUTU BETON NORMAL. *AFoSJ-LAS (All Fields of Science J-LAS)*, 1(1), 07-13.
- Putera, T. A., & Pratama, A. D. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN TEBAL PADA BASE PLATE DENGAN DAN TANPA PENGAKU (STIFFNERS) TERHADAP MOMEN-ROTASI. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Putera, T. A., Gultom, H. M., & Susanto, F. P. (2019). EVALUASI DAN PERENCANAAN PILE CAP PADA FLY OVER JAMIN GINTING KOTA MEDAN. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 30-37.
- Riza, F. V., & Ariani, R. (2019, October). Pelatihan Manajemen Keuangan Berbasis Excel pada Unit Up2k di Desa Galang Suka. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 373-377)*.
- Riza, F. V., Lubis, D. S., & Manurung, F. V. B. (2021). ANALISIS MEKANIS BETON BUSA DENGAN KOMBINASI SERAT SABUT KELAPA SERTA BAHAN TAMBAHAN ABU SEKAM PADI DAN SERBUK CANGKANG TELUR. *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*, 1(2).
- Siregar, Z. (2013). Kajian Penataan Signage di Jalan Gatot Subroto Medan Sebagai Upaya Menciptakan Kota Yang Manusiawi Secara Visual.
- Siregar, Z., & Dewi, I. (2020). Analisis Ruas Jalan Lintas Sumatera Kota Tebing Tinggi Dan Kisaran Sebagai Titik Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 1(2), 63-73.
- Siregar, R. S., Lubis, S., & Siregar, Z. (2020). Pengembangan Budidaya Pepaya Jenis California Untuk Meningkatkan Ekonomi Di Desa Nagori Rabuhit Kabupaten Simalungun. *ABDI SABHA (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 1(1), 20-26.
- SURYANTO, B., DALIMUNTHE, M., NAGAI, K., & MAEKAWA, K. SHEAR FATIGUE PERFORMANCE AND CRACK SURFACE OBSERVATIONS IN PVA-ECC BEAMS WITHOUT WEB REINFORCEMENT.
- Tahara, R. M. K., Majid, T. A., Zaini, S. S., & Faisal, A. (2017, October). Effect of repeated earthquake on inelastic moment resisting concrete frame. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 1892, No. 1, p. 020019)*. AIP Publishing LLC.
- Zahid, M. Z. A. M., Majid, T. A., & Faisal, A. (2012). Effect of repeated near field earthquake to the high-rise Rc building. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 129-138.
- Zulkarnain, F., & Dewi, I. D. (2020). PKM Pembuatan Saluran Drainase Dusun li Jln Inpres Desa Tanjung Gusta Untuk Mengatasi Banjir. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 1-5.
- Zulkarnain, F. (2021). KONTRAK, PETELITIAIN PENELITIAN TERAPAIN (PT) Tahun Anggaran 2018. KUMPULAN BERKAS KEPANGKATAN DOSEN.