

Analisis Perancangan Fondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir Rumah Sakit Primaya Menggunakan Software Plaxis

Analysis Of Pile Foundation Design in The Primaya Hospital Parking Building Construction Project Using Plaxis Software

Elsa Fricilya Palinggi^{1,a)}, Datin Firdha Razaq²⁾, Muhammad Suradi³⁾, Sugiarto Badaruddin⁴⁾

^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ujung Pandang

Koresponden: ^{a)}elsafricilya@gmail.ac.id

ABSTRAK

Rumah Sakit Primaya merupakan infrastruktur kesehatan di kota Makassar, yang memiliki permasalahan penyediaan lahan parkir karena lahan parkir yang tersedia sudah tidak mampu menampung perparkiran yang dibutuhkan. Untuk itu dibutuhkan sebuah gedung parkir bertingkat. Berdasarkan data pembebanan dan lapisan tanahnya, maka diperlukan penggunaan fondasi tiang pancang. Perencanaan fondasi tiang pancang membutuhkan analisis yang rumit oleh sebab itu digunakan *Software Plaxis 2D*. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain fondasi tiang pancang dengan menggunakan *Software Plaxis 2D*, dimana hasilnya akan diverifikasi dengan analisis manual. Analisis *Software Plaxis 2D* meliputi empat tahapan program yaitu *plaxis input*, *plaxis calculation*, *plaxis output* dan *plaxis curves*. Analisis manual menggunakan metode Meyerhof 1976 untuk daya dukung, metode Vesic 1977 dan Vesic 1970 untuk penurunan, metode Broome 1964 untuk analisis lateral dan pergerakan lateral. Perhitungan dilakukan pada tiga titik yaitu AS O-25, L-22, dan L-26 dengan hasil data lapangan pengujian SPT. Hasil penelitian diperoleh fondasi spun pile dengan diameter tiang 0,5 m dan diperoleh 4 tiang untuk AS O-25, 2 tiang untuk AS L-22, dan 2 tiang untuk AS L-26. Hasil analisis *Software Plaxis 2D* diperoleh lebih besar dari analisis manual tetapi perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sehingga perancangan fondasi menggunakan metode permodelan *Software Plaxis 2D* relatif aman dan efisien

Kata Kunci : Tiang Pancang, *Software Plaxis 2D*, Spun Pile

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Rumah Sakit Primaya merupakan salah satu infrastruktur pelayanan kesehatan yang berada di kota Makassar, yang memiliki permasalahan dalam penyediaan lahan parkir karena lahan parkir yang tersedia selalu penuh. Untuk itu dibangun sebuah gedung parkir bertingkat. Dalam membangun sebuah gedung bertingkat dibutuhkan fondasi yang mampu mendukung dan menahan beban baik beban arah vertikal maupun arah horizontal yang

semakin meningkat dengan penambahan jumlah lantai gedung. Salah satu jenis fondasi yang biasa digunakan untuk gedung bertingkat ialah fondasi tiang. Pemilihan dan dimensi fondasi disesuaikan dengan besarnya beban, kondisi lokasi/lingkungan, dan lapisan tanah (Hardiyatmo 2010).

Perancangan fondasi tiang membutuhkan analisis yang cukup rumit dan lama jika dilakukan secara manual. Salah satu software yang dapat digunakan untuk perancangan fondasi tiang ialah

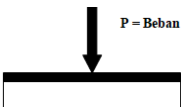
Software *Plaxis 2D* dengan analisis secara cepat dan teliti.

PLAXIS 2D merupakan program elemen hingga untuk stabilitas pada rekayasa geoteknik dengan proses analisis perhitungan secara otomatis yang didasarkan numerik yang handal. Sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu merancang fondasi tiang pancang dengan menggunakan software *PLAXIS 2D* dimana hasilnya akan diverifikasi dengan analisis manual.

STUDI PUSTAKA

Tanah

Dalam perencanaan suatu konstruksi, tanah sebagai salah satu material penting. Fungsi utama dari tanah adalah sebagai pendukung fondasi dari sebuah bangunan yang akan menerima beban dari fondasi kemudian akan disalurkan kedalam tanah. Penentuan karakteristik tanah merujuk pada pasal 5 SNI 8460-2017 Geoteknik. Berikut ilustrasi struktur fondasi dan data tanah per lapisannya.



KEDALAMAN	NO	TIPE TANAH	PROFIL	DATA TANAH
2	LEMPUNG Coklat	N-11		$c = 210,2 \text{ kPa}$ $\gamma_{\text{unsat}} = 17,5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 31^\circ$
4	LEMPUNG BERPASIR Coklat, Kaku	N-19		$c = 210,2 \text{ kPa}$ $\gamma_{\text{unsat}} = 16,08 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 31^\circ$
10	PASIR HALUS Abu-abu Kepadatan Sedang	N-34		$c = 210,2 \text{ kPa}$ $\gamma_{\text{unsat}} = 16,08 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 31^\circ$
17	LEMPUNG Abu-abu Sangat Kaku	N-45		$c = 210,2 \text{ kPa}$ $\gamma_{\text{unsat}} = 17,36 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_{\text{sat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 31^\circ$
22	BATU CADAS Abu-abu	N-60		$c = 210,2 \text{ kPa}$ $\gamma_{\text{unsat}} = 16 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 31^\circ$

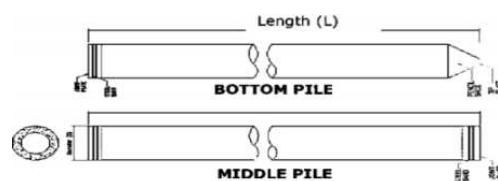
Gambar 1. Geometri Struktur dan Lapisan Tanah

Fondasi Tiang Pancang

Fondasi adalah struktur yang terletak dibawah bangunan untuk menyebarkan beban bangunan kepada lapisan tanah di sekitar/bawahnya. Berdasarkan kedalaman perletakkannya, fondasi terbagi menjadi

fondasi dangkal dan dalam (Bowless, 1977). Fondasi dangkal biasanya digunakan jika lapisan tanah permukaan relative kuat dan beban konstruksinya relative ringan. Sedangkan fondasi dalam diperlukan untuk menahan beban bangunan berat seperti gedung berlantai banyak dan lapisan tanah permukaannya relatif lemah seperti tanah lepas atau lunak.

Perencanaan gedung parkir Rumah Sakit Primaya termasuk konstruksi beban berat yakni berlantai tujuh, dimana karakteristik tanahnya bersifat lunak, berdasarkan data hasil penyelidikan tanah dengan metode *Standar Penetration Test* (SPT) yaitu lapisan tanah keras berada pada kedalaman 22 m. Dengan mempertimbangkan lokasi pembangunan berada dalam lokasi Rumah Sakit Primaya dan karakteristik tanah yang lunak fondasi tiang pancang menjadi pilihan karena dapat dilakukan secara precast (*Precast Reinforced Concrete Pile*) yang mampu mendukung beban struktur. Penampang *precast reinforced concrete pile* yang digunakan berupa lingkaran (*Spun Pile*)



Gambar 2. Tiang Pancang Beton Pra Cetak *Spun Pile*

Pembebanan Fondasi

Berdasarkan arah kerja bangunan pembebanan struktur dipengaruhi oleh beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal yaitu beban yang berasal dari berat bangunan itu sendiri (beban mati) dan beban hidup. Sedangkan untuk beban horizontal yaitu beban yang disebabkan oleh lingkungan seperti gempa dan angin.

Analisis Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil SPT

Perencanaan fondasi gedung parkir Rumah Sakit Primaya dengan penyelidikan tanah metode *Standar Penetration Test* (SPT) yang perlu dilakukan koreksi sebagai

berikut

$$N_p = \frac{N_1 + N_2}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{N} = \frac{N_{0,5} + N_{1,0} + N_{1,5} + \dots + N_i}{n} \dots\dots (2)$$

Dimana

N_p = N-SPT disekitar ujung tiang

N_1 = N-SPT 8D diatas ujung tiang

N_2 = N-SPT 4D dibawah ujung tiang

$\bar{N}$ = N-SPT rata-rata di sepanjang tiang.

Dari NSPT koreksi kemudian menghitung daya dukung dengan persamaan *Meyerhof*.

a. Metode Meyerhof

Berdasar pada data pengujian SPT, perhitungan tanah kohesif menggunakan metode *Meyerhof* (1976) dalam Sugesti, Titin (2017) dinyatakan berikut ini :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_p = 3 \cdot A_p \cdot N_p \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_s = \frac{A_s \cdot \bar{N}}{50} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

N_p = Nilai n-spt disekitar ujung tiang

N = Nilai n-spt rata-rata tiang

A_p = Luas penampang ujung tiang (ft²)

A_s = Luas selimut dinding tiang (ft²)

1 ft = 30,48 cm

σ_{tiang} = Tegangan izin tiang (kg/cm²)

b. Daya Dukung Izin Tiang Q_a

Anjuran Tomlinson sebagai berikut :

$$Q_a = \frac{Q_u}{sf} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana

Q_a = Daya dukung izin tiang (ton)

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

SF = 2,5 faktor aman berdasar SNI 8460:2017 pasal 9.2.3.1 (fondasi dalam)

c. Berat Neto Yang Diizinkan

$$Q_{tiang} = Q_{all} - Berat_{tiang} \leq P_{tiang} \dots\dots (7)$$

$$P_{tiang} = \sigma_{tiang} \cdot A_p \dots\dots\dots (8)$$

Dimana

Q_{tiang} = Berat neto yang diizinkan (ton)

Q_{all} = Daya dukung izin tiang (ton)

P_{tiang} = Kekuatan bahan tiang (ton)

σ_{tiang} = Tegangan izin tiang (kg/cm²)

d. Perencanaan Jumlah Tiang Pancang

$$n_p = \frac{p}{Q_a} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana

n_p = Jumlah tiang

P = Gaya aksial SAP 2000 (ton)

Q_a = Daya dukung izin tiang

Dengan kontrol jarak antar tiang adalah

$$2,5D \leq S \leq 3D \dots\dots\dots (10)$$

Jarak tepi tiang

$$s' = s' \geq 1,25D \dots\dots\dots (11)$$

e. Efisiensi Kelompok Tiang

$$E_g = 1 - \theta \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \right] \leq 1 \dots\dots (12)$$

$$\theta = \tan^{-1} \cdot \frac{D}{s} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang per baris

s = Jarak antar tiang (m)

D = Diameter tiang

f. Daya Dukung Kelompok Tiang

$$\Sigma Q_{tiang \text{ kelompok}} = (m \cdot n \cdot E_g) \cdot Q_a > P \dots\dots (14)$$

Dimana

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah tiang pada deretan baris

n = Jumlah tiang pada deretan kolom

Q_a = Daya dukung izin tiang (ton)

P = Gaya aksial, SAP 2000 (ton)

Analisis Penurunan Fondasi Tiang Pancang

Penurunan (*settlement*) merujuk pada pergerakan titik pada bangunan ke titik referensi tetap (Hardiyatmo, 2002).

a. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

$$S_e = S_s + S_p + S_{ps} \dots\dots\dots (15)$$

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots (16)$$

$$S_p = \frac{Q_p \cdot C_p}{D_f \cdot q_p} \dots\dots\dots (17)$$

$$S_{ps} = \frac{Q_s \cdot C_s}{D_f \cdot q_p} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana

- S_e = Penurunan elastis total (m)
- S_s = Deformasi aksial tiang (m)
- S_p = Penurunan beban ujung tiang (m)
- S_{ps} = Penurunan beban sepanjang tiang (m)
- Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)
- Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)
- α = Koefisien dari *skin friction*
- L/D_f = Panjang tiang (m)
- A_p = Luas penampang tiang (m^2)
- E_p = $4700 \cdot \sqrt{f'c}$ (ton/ m^2)
- C_p = Koefisien empiris
- $C_s = \left(0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \right) \cdot C_p$
- D = Diameter tiang (m)
- $q_p = Q_p/A_p$, tahanan ujung batas (ton/ m^2)

b. Penurunan Yang Diizinkan

Persamaan (Reese & Wright 1997) :

$$S_{Total} \leq S_{Izin} (10\% \cdot D) \dots\dots\dots (19)$$

c. Penurunan Fondasi Tiang Kelompok

1) Penurunan fondasi kelompok metode Vesic 1977

$$S_g = e \sqrt{\frac{B_g}{D}} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana

- S = Penurunan total tiang tunggal,
- B_g = Lebar kelompok tiang (m)
- D = Diameter tiang

2) Penurunan fondasi tiang kelompok metode Vesic 1970

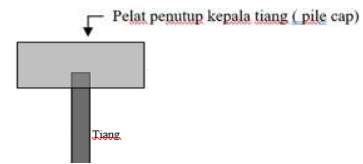
$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q_{app} L}{A_p E_p} \dots\dots\dots (21)$$

Dimana

- D = Diameter tiang
- Q_{app} = P + berat tiang
- P = Gaya aksial SAP 2000 (ton)
- Berat tiang = $A_p \cdot \gamma_{beton} \cdot n \cdot L$ (m)
- L = Kedalaman tiang (m)
- A_p = Luas penampang tiang (m^2)
- E_p = $4700 \cdot \sqrt{f'c}$ (ton/ m^2)

Analisis Tahanan Lateral Tiang Pancang

Digunakan model ikatan kepala tiang ujung terjepit (*fixed head*).



Gambar 3. Definisi Ujung Jepit

Sumber : (McNulty, 1956)

a. Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Tunggal Metode Broms

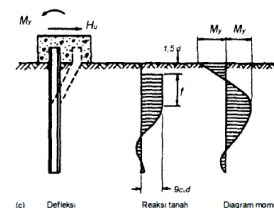
Untuk tanah kohesif menggunakan persamaan berikut :

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{K_s \cdot D}} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana

- $E_p = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$ (ton/ m^2)
- $I_p = \frac{1}{64} \cdot \pi \cdot d^4$ momen inersia tiang (m^4)
- D = Diameter (m^4)
- $k_s = k_1/1,5$ modulus subgrade (ton/ m^3)

Perencanaan fondasi tiang menggunakan tiang ujung jepit (*fixed-end pile*).



Gambar 4. Defleksi dan Mekanisme Keruntuhan Fondasi Tiang

Untuk tiang pendek, digunakan persamaan berikut :

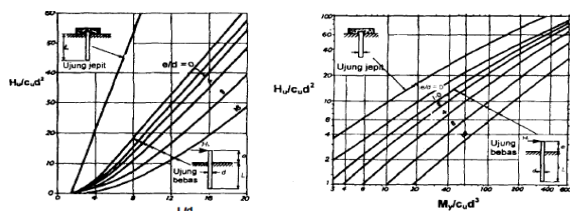
$$H_u = 9 \cdot C_u \cdot D (L - g - 1,5D) \dots\dots\dots (23)$$

$$M_{maks} = H_u \left(\frac{L}{2} + \frac{3D}{4} \right) \dots\dots\dots (24)$$

Dimana

- H_u = Beban lateral
- C_u = Kohesi tanah undrained (kN/ m^2)
- D = Diameter tiang (m)
- L = Panjang tiang (m)
- g = Jarak momen maks. dasar tiang (m)

Nilai H_u tiang pendek dan tiang panjang di peroleh dari grafik pada Gambar 5.



a. Tiang Pendek b. Tiang Panjang
Gambar 5. Kapasitas Beban Lateral pada Tanah Kohesif.

Untuk tiang panjang, digunakan persamaan berikut:

$$H_u = \frac{2M_y}{1,5D+0,5f} \dots\dots\dots(25)$$

$$f = \frac{H_u}{9.C_u.D} \dots\dots\dots(26)$$

$$M_y = f_b.w \dots\dots\dots(27)$$

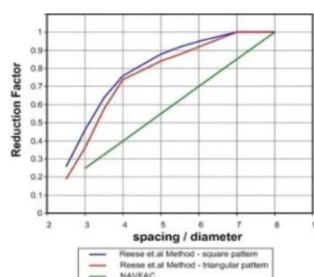
$$H_{ijin} = \frac{H_u}{S_f} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana

- H_u = Beban lateral
- M_y = Momen maksimum (T/m)
- D = Diameter tiang (m)
- f = Momen maks dari permukaan tanah
- C_u = Kohesi tanah undrained (kN/m²)
- f_b = 0,4.f_c (kekuatan beban tiang kg/cm)
- $w = \frac{I_p}{D/2}$ (m³)
- I_p = Momen inersia tiang (m⁴)
- H_{ijin} = Nilai H yang diijinkan ($H_{ijin} \leq H_u$)
- S_f = Faktor aman, SNI 8460:2017 pasal 9.2.3.1 fondasi dalam (2,5)

b. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok

Untuk menentukan daya dukung lateral tiang kelompok dibutuhkan mengenai jarak, jumlah, susunan tiang dan faktor reduksi.



Gambar 6. Faktor Reduksi

Sumber : (Reese dalam Balamba, 2018)

$$H_g = \text{Faktor reduksi} \cdot n \cdot H_u \dots\dots\dots(29)$$

Dimana

H_g = Daya dukung lateral kelompok (kN)

H_u = Daya dukung lateral tunggal (kN)

n = Jumlah tiang dalam kelompok.

Analisis Pergerakan Lateral Metode Brooms

Untuk nilai defleksi pada tanah kohesif, dikaitkan dengan nilai βL , dengan persamaan sebagai berikut :

$$\beta = \left(\frac{K_s \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p} \right)^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(30)$$

Kondisi kepala tiang terjepit (fixed head pile)

Tiang ujung jepit berkelakuan sebagai tiang pendek dimana, bila $\beta L < 0,5$

$$y_0 = \frac{H_u \beta}{K_s \cdot D \cdot L} \dots\dots\dots(31)$$

Tiang ujung jepit berkelakuan sebagai tiang panjang dimana, bila $\beta L > 1,5$

$$y_0 = \frac{H_u \beta}{K_s \cdot D} \dots\dots\dots(32)$$

Dimana

- β = Faktor tak berdimensi
- L = Panjang tiang (m)
- D = Diameter tiang (m)
- k_s = $k_1/1,5$ (ton /m³)
- y_0 = Defleksi tiang
- H_u = Beban lateral

Bangunan gedung, jembatan, dan struktur lainnya, Gerakan lateral (defleksi) ditoleransi 6 mm - 18 mm.

Analisis Tulangan Pile Cap

a. Tulangan Geser Satu Arah Berdasarkan SNI 2847:2019 PS.13.4.2.5

1) Gaya Geser yang Bekerja

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G' \dots\dots\dots(33)$$

$$\sigma = \frac{P}{A_{pile \ cap}} \dots\dots\dots(34)$$

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{c_1}{2} + d \right) \dots\dots\dots(35)$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(36)$$

Kontrol gaya geser 2 arah SNI 2847:2019 Ps.13.4.3.5b

$$\phi V_c \geq V_u$$

2) Kontrol tegangan geser dua arah berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.6.5.2

$$\beta c = c1/c2 \dots\dots\dots(37)$$

$$b_o = 2(c1+d) + 2(c2 +d) \dots(38)$$

$$B' = c1+ d \dots\dots\dots(39)$$

- 3) Kontrol kuat geser beton berdasarkan SNI 2847:2019 ps 22.6.5.2

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta c}\right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \dots(40)$$

$$V_c = 0,083 \left(2 \frac{\alpha_s \cdot d}{b_o}\right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \dots(41)$$

$$V_c = 0,33 \cdot \lambda \sqrt{f'c} b_o \cdot d \dots\dots(42)$$

$$V_u = \sigma \cdot (b^2 - \beta'^2) \dots\dots\dots(43)$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot V_c \text{ pakai} \dots\dots\dots(44)$$

$$\text{Kontrol} \rightarrow \phi V_c \geq V_u$$

Dimana

- V_u = Gaya geser (ton)
 L = Panjang tiang (m)
 P = Gaya aksial pada kolom (ton)
 B = Lebar pile cap (m)
 d = h- tebal efektif pile cap (m)
 A = Luas Penampang m^2
 $C1$ = Panjang kolom arah x (mm)
 $C2$ = Panjang kolom arah y (mm)
 b_o = Keliling penampang geser (mm)
 λ = 1 untuk beton normal
 α_s = 40 kolom interior, 30 kolom tepi dan 20 kolom sudut
 B' = Keliling kritis dua arah (mm).

b. Analisis Tulangan Lentur

- 1) Lembar penampang kritis

$$B = \frac{\text{Lebar pile Cap}}{2} - \frac{\text{Lebar kolom}}{2} \dots\dots(45)$$

- 2) Berat pile cap pada penampang kritis q'

$$q' = \gamma_{\text{beton}} \cdot b \cdot \text{tebal pile cap} \dots\dots(46)$$

- 3) Menghitung nilai M_u

$$M_u = 2 \cdot \left(\frac{P_u}{n} \cdot s\right) - \frac{1}{2} q' B^2 \dots\dots(47)$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots(48)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f'c}}\right) \dots\dots(49)$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(50)$$

$$A_{s_{\text{min}}} = 0,0018 \cdot b \cdot h \dots\dots(51)$$

- 4) Menghitung jumlah dan jarak tulangan

$$n_{\text{tul.}} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{A_{\text{tulangan}}} \dots\dots\dots(52)$$

$$S = \frac{b}{n_{\text{tulangan}}} \dots\dots\dots(53)$$

$$A_{S_{\text{lentur}}} = A_{\text{tulangan}} \cdot n_{\text{tulangan}} \dots\dots(54)$$

- 5) Kontrol penulangan $\sum H = 0$

$$a = \frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots(55)$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \dots\dots(56)$$

Dimana

- B = Lebar penampang kritis (m)
 B = Lebar pile cap (m)
 q' = Penampang kritis (kg/m)
 γ_{beton} = Berat jenis beton 2400 kg/m³
 d = h- (tebal efektif pile cap m)
 a = Tinggi blok tegangan tekan (mm)
 ϕ = 0,9
 M_n = Momen nominal
 λ = 1 untuk beton normal
 α_s = 40 kolom interior, 30 kolom tepi, dan 20 kolom sudut
 B' = Daerah keliling kritis dua arah (mm)

c. Analisis Tulangan Tekan

Berdasarkan SNI 2847-2019 :

$$A_S \text{ tekan} \geq 20\% A_S \text{ lentur} \dots\dots(56)$$

Program Software PLAXIS 2D

Software Plaxis 2D merupakan sebuah program metode elemen hingga (*finite element*) dalam bidang rekayasa geoteknik berfungsi untuk menganalisis deformasi dan stabilitas. *Program Plaxis 2D* dilengkapi dengan beberapa fitur untuk menyelesaikan beragam permasalahan dengan memberikan gambaran tentang kondisi sesungguhnya dilapangan terkait aspek struktur dan geoteknik yang sangat kompleks. Program ini meliputi empat tahapan dimulai dari input data, kemudian perhitungan, keluaran (*output*), dan terakhir kurva.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Proyek pembangunan Gedung Parkir Rumah Sakit Primaya berlokasi di Jalan Urip Sumoharjo No. 43, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Dimana karakteristik tanahnya berifat lunak, berdasarkan hasil pebyelidikan tanah dengan metode N-SPT yaitu lapisan tanah keras berada pada kedalaman 22 m.

Metode Pengumpulan Data

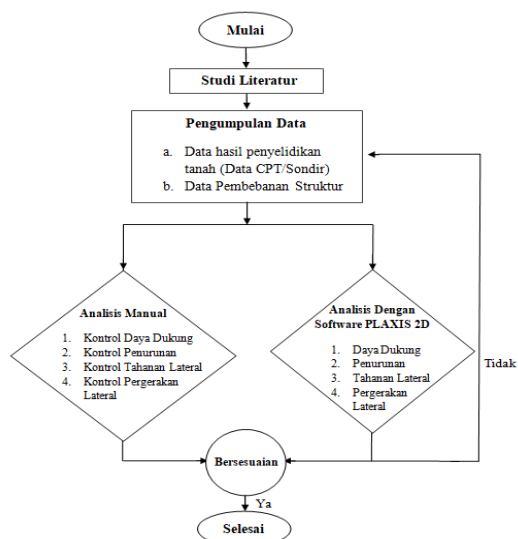
Penelitian ini menggunakan metode teknik studi dokumen, dimana peneliti mengumpulkan dan mempelajari data-data yang didapatkan dari lokasi penelitian.

Alat Bantu Penelitian

- Software PLAXIS 2D
- Microsoft office
- Sap 2000

Prosedur Penelitian

Proses penelitian mencakup studi literatur, pengumpulan data kemudian dilakukan analisis manual dan analisis *Software Plaxis 2D*. Dari kedua analisis selanjutnya menyesuaikan hasil yang diperoleh.



Gambar 7. Diagram Alir

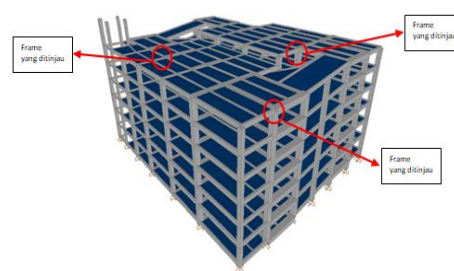
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Dengan SAP 2000 V.22

Penelitian ini meninjau tiga titik pada SAP 2000 berikut tabel titik yang ditinjau.

Tabel 1. Data Hasil Analisis SAP 2000 V.22

NO	AS Kolom	COMB	Gaya Lateral		Gaya Aksial	Momen	
			Fx	FY	FZ	Mx	My
			Ton	Ton	Ton	Ton,m	Ton,m
1	O-25	COMB 3	7,81	2	550,31	3,09	4,87
2	L-22	COMB 3	-1,06	3,19	356,86	3,41	18,44
3	L-26	COMB 3	-2,95	1,87	312,12	16,38	7,97



Gambar 8. Pemodelan SAP 2000 V.22

Analisis Daya Dukung Fondasi Dengan Data N-SPT

Perencanaan tiang pancang:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,5 \text{ m} = 1,64 \text{ ft} \\
 L &= 18 \text{ m} = 59,06 \text{ ft} \\
 A_s &= 28,26 \text{ m}^2 = 304,19 \text{ ft}^2 \\
 A_p &= 0,196 \text{ m}^2 = 2,11 \text{ ft}^2 \\
 f'_c &= 41,5 \text{ Mpa} = 500 \text{ Kg/cm}^2 \\
 \sigma &= 0,25 \cdot f'_c = 0,25 \cdot 41,5 = 125 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

a. Data N-SPT

Berdasarkan data lapangan pengujian N-SPT diperoleh Nilai N-SPT ujung (N_p) = 52,5 dan N-SPT rata-rata ($\bar{N}$) = 28,1 pada kedalaman 18 m.

b. Daya Dukung Ujung Fondasi Metode Meyerhof

$$Q_p = 3 \cdot 2,11 \cdot 52,5 = 332,33 \text{ ton}$$

c. Daya Dukung Selimut Metode Meyerhof

$$Q_s = \frac{304,19 \cdot 28,1}{50} = 170,95 \text{ ton}$$

d. Daya Dukung Ultimit

$$Q_u = 332,33 + 170,95 = 503,28 \text{ ton}$$

e. Daya Dukung Izin Fondasi (Q_{all})

$$Q_{all} = 503,28 / 2,5 = 201,31 \text{ ton}$$

f. Cek Kekuatan Bahan Tiang (P_{tiang})

$$P_{tiang} = 125.1962,5 \\ = 245312,50 \text{ kg} = 245,31 \text{ ton}$$

g. Berat Neto yang Diizinkan

$$Q_{all} - \text{Berat tiang} \leq P_{tiang} \\ 192,83 \text{ ton} \leq 245,31 \text{ ton} \dots \text{Aman!}$$

h. Perencanaan Jumlah Tiang Pancang

AS O-25 dengan P = 550,31 ton

$$n = P / Q_{all}$$

$$n = 550,31 / 201,31 = 2,73 \rightarrow 3 \text{ buah}$$

Dari persamaan diatas diperoleh jumlah tiang AS L-22 = 2 buah dan AS L-26 = 2 buah

Penentuan jarak tiang (s)

$$S = 1,25 \leq s \leq 1,50$$

Jarak tepi tiang (s') ditentukan menggunakan persamaan 67:

$$s' = s' \geq 1,25D = 0,625 \text{ m}$$

i. Daya Dukung Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang pada AS O-25

Penentuan (θ) dicoba s = 1,25 m

$$\theta = \tan^{-1} \cdot \frac{0,5}{1,25} = 21,80$$

Efesiensi kelompok tiang (Eg)

$$Eg = 1 - 21,80 \left[\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right] \leq 1$$

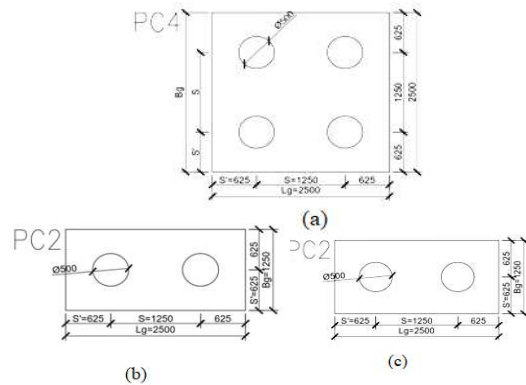
$$Eg = 0,76 \leq 1 \dots \text{OK!}$$

Daya dukung kelompok tiang (Q_{tk})

$$\sum Q_{tk} = 2 \cdot 201,31 > 550,31 \quad (14)$$

$$= 611,98 > 550,31 \dots \text{Aman!}$$

Untuk AS L-22 dan AS L-26 Aman dengan jumlah tiang 2 buah.



Gambar 9. (a) pile cap AS O-25, (b) pile cap AS L-22, (c) pile cap AS L-26

Penurunan Fondasi Tiang Pancang Dengan Manual

a. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Dengan Manual Vesic (1977)

$$S_s = \frac{(332,33 + 0,5 \cdot 170,95) \cdot 18}{0,196 \cdot 3087459}$$

$$= 0,012 \text{ m}$$

$$S_p = \frac{(0,02 \cdot 332,33)}{0,5 \cdot 1695,56}$$

$$= 0,008 \text{ m}$$

$$S_{ps} = \frac{(1 \cdot 170,95)}{18 \cdot 1695,56}$$

$$= 0,006 \text{ m}$$

Penurunan total elastis tiang tunggal

$$S_e = 0,012 + 0,008 + 0,006$$

$$= 0,026 \text{ m} = 26 \text{ mm}$$

Penurunan yang diizinkan

$$S_{izin} = D \times 10\% = 50 \text{ mm}$$

$$26 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm} \dots \text{OK!}$$

b. Penurunan fondasi kelompok metode vesic (1977)

AS O-25 dengan Bg = 2,50 m

$$S_g = 0,026 \cdot \sqrt{\frac{2,5}{0,5}}$$

$$= 0,058 \text{ m} \rightarrow 58 \text{ mm}$$

Dari persamaan diatas diperoleh penurunan fondasi kelompok tiang AS L-22 = 41mm dan AS L-26 = 41mm.

metode vesic (1970)

AS O-25 dengan P = 550,31 ton

berat_{tiang} = 0,196 . 2,4 . 4.18 = 33,87 ton

Qapp = 550,31 + 33,87 = 584,18 ton

$$S = \frac{0,5}{100} + \frac{584,18 \cdot 18}{0,196 \cdot 3087459}$$

$$= 0,22 \text{ m} = 22 \text{ mm}$$

Diperoleh penurunan fondasi kelompok tiang AS L-22=16 mm dan AS L-26=16 mm.

Analisis Lateral Menggunakan metode Broms 1964

a. Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Tunggal Manual

$$E_p = 4700 \cdot \sqrt{41,5} = 3087459,02 \text{ ton/m}^2$$

$$I_p = \frac{1}{64} \cdot 3,14 \cdot 0,5^4 = 0,0031 \text{ m}^4$$

$$k_s = \frac{K_1}{1,5} \longrightarrow K_1 = 5,40 \text{ kg/cm}^3$$

$$k_s = \frac{5,40}{1,5} = 3,6 \text{ kg/cm}^3 = 3600 \text{ ton/m}^3$$

$$R = \sqrt[4]{\frac{3087459,02 \cdot 0,0031}{3600 \cdot 0,5}} = 1,52$$

Perilaku tiang panjang Tomlinson 1977

$18 \geq 3,5 R = 18 \geq 5,32$..Memenuhi

$$f_b = 16,6 \text{ Mpa} = 1692,73 \text{ ton/m}^2$$

$$W = \frac{I_p}{d/2} = \frac{0,0031}{0,5/2} = 0,0124$$

$$M_y = 1692,73 \cdot 0,0124 = 20,89 \text{ ton/m}$$

$$f = \frac{1}{96,453} H_u = 0,0104 H_u$$

Gaya lateral tiang panjang ujung jepit

$$H_u = \frac{2 \cdot 20,89}{1,5 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,0104 H_u}$$

$$0,75 H_u + 0,0052 H_u^2 - 41,78 = 0$$

Nilai H_u gunakan rumus ABC :

$$H_u = \frac{-0,75 \pm \sqrt{0,75^2 - (4 \cdot 0,0052 \cdot -41,78)}}{2 \cdot 0,0052}$$

$$H_{u1} = 42,93 \text{ dan } H_{u2} = -187,16$$

Digunakan $H_u = 42,93 \text{ ton}$

$$H_{ijin} = \frac{42,93}{2,5} = 17,17 \text{ ton}$$

Cek Syarat :

$$H_{ijin} \leq H_u = 17,17 \leq 42,87 \dots \text{Aman!}$$

Gaya lateral pada tiang panjang ujung jepit cara grafis.

Dari grafik hubungan H_u/Cud^2 dan M_y/Cud^3 maka diperoleh nilai :

$$H_u = 8 \cdot 21,434 \cdot 0,5^2 = 42,87 \text{ ton}$$

$$H_{ijin} = \frac{42,87}{2,5} = 17,15 \text{ ton}$$

Cek Syarat :

$$H_{ijin} < H_u = 17,15 < 42,87 \dots \text{Aman!}$$

b. Daya Dukung Lateral Tiang Pancang Kelompok AS O-25 dengan s = 1,25

Untuk $H_u = 42,93 \text{ ton}$

$$H_g = 0,3 \cdot 4 \cdot 42,93 = 51,516 \text{ ton}$$

Tabel 2. Nilai H_u dengan s = 1,25

AS Kolom	$H_u = 42,93$	$H_u = 42,87$
AS O-25	51,516	51,444
AS L-22	25,758	25,758
AS L-26	25,722	25,722

Analisis Pergerakan Lateral Metode Broms 1964

Defleksi Tiang Ujung Jepit Tanah Kohesif

$$\beta = \left(\frac{3600 \cdot 0,5}{4 \cdot 3087459,02 \cdot 0,0031} \right)^{\frac{1}{4}} = 0,46$$

Pergerakan lateral (defleksi tiang) AS O-25

Untuk $H_g = 51,516 \text{ ton}$

$$y_0 = \frac{H_g \beta}{K_s \cdot D} = \frac{51,516 \cdot 0,466}{3600 \cdot 0,5}$$

$$y_0 = 0,0133$$

$$m = 13,3 \text{ mm} < 18 \text{ mm} \dots \text{Ok!}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai H_g

AS Kolom	$H_g = 25,758$	$H_g = 25,722$
AS O-25	13,3 mm	13,3 mm
AS L-22	6,7 mm	6,7 mm
AS L-26	6,7 mm	6,7 mm

Analisis Pile Cap Berdasarkan SNI 2847:2019

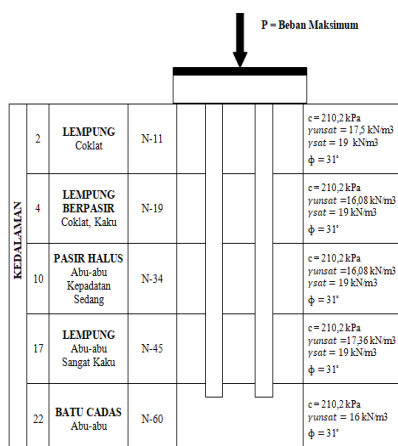
Tabel 4. Rekapitulasi Desain Tulangan Pile Cap

AS	Tulangan Pile Cap			
	Tul. Utama	Tul. Atas	Tul. Hasil Perhitungan	Tul. Bawah
O-25	D28	D19	ø19-150	ø28-150
L-22	D28	D19	ø19-140	ø28-140
L-26	D28	D19	ø19-140	ø28-140

Analisis Software Plaxis 2D

Perencanaan fondasi pada penelitian ini menggunakan *Software Plaxis 2D* dimana data, material dan beban yang diinput sesuai dengan data perencanaan. Pada penelitian digunakan fondasi *spun pile*, dengan diameter 0,5 m dan kedalaman 18 m. Berikut langkah-langkah dalam menganalisis menggunakan *Software Plaxis 2D*.

a. Pemodelan Geometri Struktur



Gambar 10. Geometri Struktur dan Lapisan Tanah

b. Analisis Perhitungan

Analisis perhitungan pada *Software Plaxis 2D* terdiri empat tahapan (*phase*), diantaranya pemasangan fondasi, kemudian pemasangan *pilecap*, pembebanan fondasi dan *safety factor*.

c. Output Analisis

Berdasarkan analisis perhitungan *Software Plaxis 2D* diperoleh kapasitas

dukung dari analisis faktor aman *Software Plaxis 2D*.

$$Q_a = P_{allowable} = \frac{Q_u}{\Sigma - Msf}$$

$$Q_u = P_{allowable} \times \Sigma - Msf \\ = 5773,04 \text{ kN} = 588,69 \text{ ton}$$

Tabel 5. Nilai Daya Dukung Ultimit Plaxis 2D

AS	Tipe Fondasi	Nilai Faktor Keamana	Qtk P allowabl e (kN)	Qu (kN)	Qu (Ton)
O-25	P1	1,4132	6070	8578,1	874,72
L-22	P2	1,586	3640	5773	588,69
L-26	P3	1,586	3640	5773	588,69

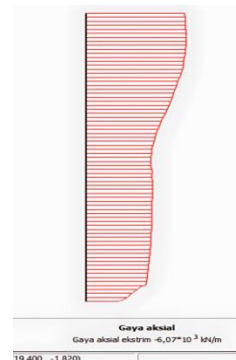
d. Pembahasan

1) Daya dukung fondasi dengan *Software Plaxis 2d*

Berikut perbandingan daya dukung fondasi berdasarkan hasil analisis menggunakan *Software Plaxis 2d* dan analisis manual dengan metode *Meyerhof*.

Tabel 6. Nilai Perbandingan Daya Dukung Fondasi

No	Analisis	Metode	As O-25 (Ton)	As L-22 (Ton)	L 26 (Ton)
1	Daya dukung	<i>Meyerhof</i>	503,28	503,28	503,28
	Ultimit (Qu)	Plaxis 2D	874,72	588,69	588,69
2	Daya dukung	<i>Meyerhof</i>	623,5	360,98	360,98
	Kelompok (Qa)	Plaxis 2D	618,97	371,18	371,18



Gambar 11. Daya Dukung Kelompok AS O-25

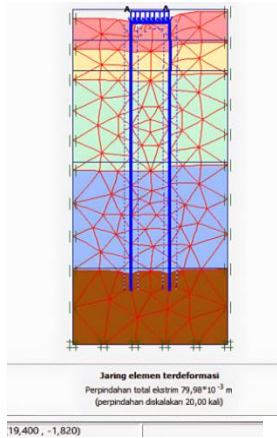
2) Penurunan kelompok fondasi dengan *Software Plaxis 2D*

Berikut perbandingan penurunan kelompok fondasi yang diperoleh dari analisis menggunakan *Software Plaxis 2d*

dan analisis manual menggunakan Vesic (1977) dan Vesic (1970).

Tabel 7. Nilai Perbandingan Penurunan Fondasi

No	Metode	AS O-25 (mm)	AS L-22 (mm)	AS-L26 (mm)
1	Vesic 1977	58	41	41
2	Vesic 1970	21	15	14
3	Plaxis 2D	79	40	39



Gambar 12. Penurunan Kelompok AS O-25

3) Daya dukung lateral kelompok fondasi dengan *Software Plaxis 2D*

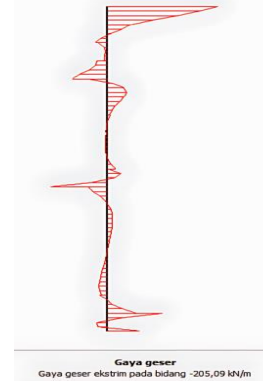
Berikut perhitungan daya dukung lateral dari analisis *safety factor* pada *Software Plaxis 2D*. (Annisa 2019)

$$H_u = 2 \cdot \text{Gaya geser} \cdot \Sigma - M_{sf}$$

$$= 229,177 \text{ kN} = 23,36 \text{ ton}$$

Tabel 8. Nilai Perbandingan Daya Dukung Lateral Kelompok Fondasi

No	Metode	AS O-25 (Ton)	AS L-22 (Ton)	AS-L26 (Ton)
1	Broms 1964	51,516	25,758	25,758
2	Cara Grafis	51,444	25,722	25,722
3	Plaxis 2D	46,18	21,49	23,36



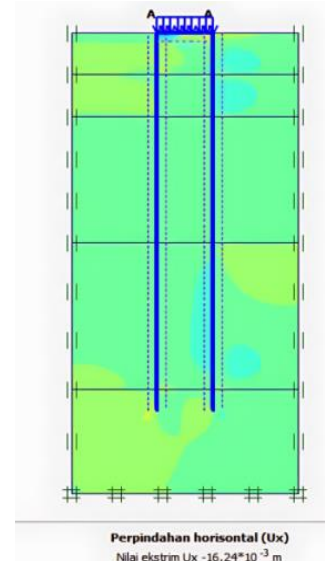
Gambar 13. Daya Dukung Lateral Kelompok AS O-25

4) Pergerakan lateral fondasi dengan *Software Plaxis 2D*

Berikut perbandingan pergerakan lateral (*Defleksi*) fondasi berdasarkan hasil analisis menggunakan *Software Plaxis 2d* dan analisis manual menggunakan Broms (1964) dan Broms cara Grafis.

Tabel 9. Nilai Perbandingan Pergerakan Lateral

No	Metode	AS O-25 (mm)	AS L-22 (mm)	AS-L26 (mm)
1	Vesic 1977	13,3	6,7	6,7
2	Vesic 1970	13,3	6,7	6,7
3	Plaxis 2D	16	15	16



Gambar 14. Pergerakan Lateral AS O-25

KESIMPULAN

Hasil analisis perancangan fondasi tiang pancang pada Proyek Pembangunan Gedung Parkir Rumah Sakit Primaya Menggunakan Software Plaxis didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis fondasi yang digunakan yaitu Spun Pile dengan diameter tiang 0,5 m.
2. Berdasarkan parameter yang digunakan diperoleh 4 tiang untuk AS O-25, 2 tiang untuk AS L-22, dan 2 tiang untuk AS L-26
3. Hasil analisis Software Plaxis 2D diperoleh nilai daya dukung, penurunan, tahanan lateral dan pergerakan lateral fondasi yang lebih besar dari analisis manual namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Sehingga perancangan fondasi menggunakan metode permodelan *Software Plaxis 2D* relatif aman dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Rahmadhani Annisa. 2019. Analisis Kapasitas Dukungan Penurunan Pondasi Kaison Pada Abutmen Bagian Bentang 20 M Jembatan Lembah Abang. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Muslim Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. *SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Balamba, Sjachrul. 2018. Analisis Pengaruh Jumlah Tiang dan Tebal Kepala Tiang (Pile Cap) pada Tanah Pasir dan Lempung Terhadap Defleksi Tiang Pancang Akibat Beban Lateral. Disertasi. Univesitas Brawijaya. Malang.
- Bowles, E Joseph. 1997. *Analisis dan Desain Fondasi*. Erlangga. Jakarta.
- Bowles, E Joseph. 1997. *Analisis dan Desain Fondasi*. Erlangga. Jakarta.
- Broms, B. 1964. *The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils* *Journal of the Soil Mechanics Divisions*. ASCE: Vol. 90. N0. SM3.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Meyerhof, G. G. 1976. *Bearing Capacity and Settlement of Pie Foundation*. Journal of the Geotechnical Engineering Division American.
- McNulty, J.F. 1956. *Thrust Loading on Piles*. ASCE: Journal Soil mech and Foundation.
- Sugesti, Titin. & dkk. 2017. Perbandingan Daya Dukung Pondasi Minipile Dan Sumuran Menggunakan Metode Meyerhof, Lcpc, Dan Aoki dan De Alencar. Tugas Akhir. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.
- Vesic, AS. 1977. *Design of Pile foundations*. Washington DC: national program Synthesis of Practice No. 42