

Alternatif Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana (P2KB) Palu

R. Hidayat^{a*} dan Irdhiani^a

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

* Corresponding author's e-mail: hhidayatrahmad@gmail.com

Received: 15 February 2021; revised: 25 February 2021; accepted: 27 February 2021

Abstract: The foundation design of Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana is located on Jl. R.A. Kartini No. 100, Palu City, Central Sulawesi. In field testing using 2-point of (CPT), the value of hard-ground support at 8 – 9 m below the surface and the loads of building structures of 2 (two) floor buildings that work on the foundations are quite large, this is a consideration in choosing the type of used foundation. The point of this design is to obtain the dimensions of the pile foundation and calculate the bearing capacity of the foundation permit and settlement that meet the safety requirements. The calculation for bearing capacity of the foundation is calculated using (CPT) data and soil shear strength parameter data (c and ϕ). Single pile is calculation by using the Semi-Empirical method and using Brooms Method for calculating lateral force on the driven piles. The dimensions of the foundation are planned based on the load (Q_v) acting on the entire foundation. Calculation of bearing capacity of a single pile with a penetration depth of 8,20 m and varying dimensions are used in the planning. Based on the calculation of the bearing capacity of a single pile using (CPT) data on the load that works on the foundation, was obtained 25 cm and 30 cm diameter of pile. while the calculation uses ground shear strength parameter data (c and ϕ) obtained pile diameter of 30 cm and diameter of 35 cm. Based on the calculation of the bearing capacity of a single pile, the dimensions of the foundation and the settlement in permits has reached the safety requirements.

Keywords: *driven pile, bearing capacity, settlement, defelection, safety factor.*

Abstrak: Perencanaan fondasi gedung pengendalian penduduk dan keluarga berencana ini terletak pada Jl. R.A. Kartini No.100, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Pada pengujian lapangan menggunakan alat sondir sebanyak 2 titik, nilai daya dukung tanah keras berada pada kedalaman 8 – 9 m di bawah permukaan tanah dan beban struktur bangunan gedung berlantai 2 (dua) yang bekerja pada fondasi cukup besar, hal ini menjadi pertimbangan dalam memilih jenis fondasi yang digunakan. Tujuan perencanaan ini ialah memperoleh dimensi fondasi tiang dan menghitung nilai daya dukung izin fondasi serta penurunan yang memenuhi syarat keamanan. Perhitungan daya dukung fondasi di hitung menggunakan data sondir dan data parameter kuat geser tanah (c dan ϕ). Perhitungan penurunan tiang tunggal menggunakan metode Semi-Empiris dan Perhitungan gaya lateral tanah pada tiang pancang menggunakan metode Brooms. Dimensi fondasi direncanakan berdasarkan pada beban yang bekerja terhadap seluruh pondasi. Perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan kedalaman penetrasi tiang 8,20 m dan digunakan dimensi bervariasi pada perencanaan. Berdasarkan perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan data sondir terhadap beban yang bekerja di pondasi, didapat diameter 25 cm dan diameter 30 cm. sedangkan perhitungan menggunakan data parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) didapat diameter tiang 30 cm dan diameter 35 cm. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung izin tiang tunggal, diperoleh dimensi fondasi dan penurunan izin yang sudah memenuhi syarat keamanan.

Kata kunci: *tiang pancang, daya dukung, penurunan, defeleksi, faktor aman.*

1. Pendahuluan

Pada perencanaan konstruksi bangunan gedung haruslah didukung oleh struktur fondasi yang kuat dan stabil sehingga mampu memikul beban dari konstruksi bangunan. Berperan sebagai struktur utama gedung yaitu struktur bawah, fondasi menopang seluruh beban dan meneruskannya ke lapisan tanah pendukung [1-2]. Pemilihan jenis fondasi yang kurang tepat akan mengakibatkan kerusakan seperti retak pada dinding, lantai pecah, sampai penurunan yang tidak wajar pada bangunan yang direncanakan. Mengingat pentingnya hal ini, maka perencanaan dan pelaksanaan menjadi sudut pandang yang perlu diselidiki lebih dalam demi tercapainya suatu bangunan yang kokoh dan tetap terjaga kondisi fisiknya sampai pada umur rencana [3-4].

Ada beberapa hal yang perlu di perhatikan dalam memilih jenis fondasi yang akan digunakan, yaitu kondisi lapisan tanah, fungsi dan beban yang akan dipikul fondasi,

serta biaya konstruksi. Seperti yang kita ketahui bersama ada 2 (dua) jenis fondasi, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam [5-6]. Dalam penelitian ini penulis menganalisis kembali fondasi dengan menggunakan jenis fondasi dalam yakni fondasi tiang pancang pada Gedung P2KB Palu yang rencananya akan dibangun berlantai 2 (dua). Perlu di ketahui bahwa fondasi *existing* dibangun menggunakan fondasi *bored pile* dengan kedalaman yang seragam di tiap titik fondasi yaitu 7,6 m, dengan diameter seragam yaitu 0,25 m. Melihat kondisi fisik tanah yang beragam pada data sekunder (hasil sondir di lapangan) serta beban yang bekerja pada Gedung P2KB Palu yang berlantai 2 (dua) dianggap cukup besar. Kondisi inilah yang mendasari penulis untuk menganalisis kembali fondasi gedung tersebut dengan menggunakan fondasi tiang pancang yang dapat mencapai kedalaman tanah keras serta efisien. Faktor kelebihan dari tiang pancang yang juga menjadi pertimbangan yaitu: proses pembuatan dengan sistem pra-cetak sehingga mutu

beton dapat lebih terjamin sesuai dengan mutu rencana, daya dukung fondasi tiang pancang tidak hanya terdapat di ujung tiang tetapi juga di sekeliling tiang.

Adapun permasalahan yang akan di bahas, yaitu: bagaimana menganalisis dimensi tiang pancang pada Gedung P2KB Palu yang memenuhi syarat terhadap daya dukung serta penurunan yang terjadi, berdasarkan data sondir (q_c dan R_f) dan data parameter kuat geser tanah c , ϕ dan γ hasil korelasi dari data sondir. Data yang diperoleh dari pihak terkait (CV. STB64) adalah data uji Sondir sebanyak 2 (dua) titik dan 1 (satu) titik uji Hand Boring [7]. Data yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan data sekunder berupa data hasil pengujian sondir pada titik 1 (satu) yang dimana merupakan data uji sondir dengan kondisi tanah yang kurang baik jika dibandingkan dengan data sondir pada titik 2 (dua). Data sekunder lainnya yang juga digunakan yaitu data perencanaan berupa *shop drawing*/gambar kerja bangunan gedung P2KB Palu.

Tujuan utama dari pengujian sondir adalah untuk mengetahui profil tanah dan karakteristiknya. Umumnya, nilai tahanan konus (q_t) tinggi pada tanah pasir dan rendah pada lempung. Selain itu, rasio friksi ($R_f = f_s/q_t$) rendah pada tanah pasir dan tinggi pada tanah lempung. Klasifikasi menggunakan grafik sondir tidak dapat diharapkan untuk memberikan prediksi jenis tanah yang akurat seperti analisa saringan. Tapi, sondir dapat memberikan acuan untuk mendapatkan sifat mekanis tanah dan jenis tanah [8].

2. Metode Penelitian

Komponen dari sebuah struktur harus direncanakan untuk menahan beban yang bekerja padanya tanpa mengalami tegangan dan deformasi yang berlebihan. Pada struktur menara beban-beban yang diperhitungkan adalah beban akibat berat sendiri, beban akibat angin, beban hidup, beban akibat gempa. Perhitungan daya dukung fondasi digunakan 2 cara yaitu dengan menggunakan data sondir dan data parameter c dan ϕ [9–11].

2.1. Daya Dukung Fondasi Tiang Dari Hasil Data Sondir Metode Mayerhof

a) Tahanan ujung tiang (Q_p)

Daya dukung ujung tiang dengan menggunakan data sondir metode *Mayerhof* dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [11]:

$$Q_b = A_p f_b \quad (1)$$

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} \quad (2)$$

dengan:

f_b = tahanan ujung satuan, untuk tiang bor diambil 70% atau 50%-nya.

q_{ca} = q_c rata – rata (kN/m^2) pada zona 1D di bawah ujung tiang dan 4D di atas nya.

$\omega_1 = \{(D+0,5)/2D\}^n$: koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $D > 0,5$ m. jika $D < 0,5$ m, $\omega_1 = 1$

$\omega_2 = L/10D$ = koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10D$, jika $L > 10D$, $\omega_2 = 1$ jika $D < 0,5$ m, $\omega_1 = 1$

$\frac{D}{d}$ = diameter tiang (m) jika $D < 0,5$ m, $\omega_1 = 1$

L = kedalaman penetrasi tiang di dalam lapisan pasir padat (m)

b) Tahanan gesek tiang (Q_s)

Daya dukung selimut tiang dengan data dondir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [10]:

$$f_s = K_f q_f \quad (3)$$

dimana $K_f = 1$ pada tiang pancang, atau bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus:

$$f_s = K_c q_c \quad (4)$$

dimana:

K_c = koefisien modifikasi konus = 0,05

f_s = tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

K_f = koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

$$Q_s = A_s f_s \quad (5)$$

Untuk tiang bor, Mayerhof menyarankan menggunakan faktor reduksi 70% dan 50% dalam menghitung tahanan gesek tiang dengan menggunakan Persamaan 3 dan 4.

2.2. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p) Dari Hasil Data Parameter c dan ϕ

Perhitungan daya dukung ujung tiang pada tanah berpasir dapat dihitung dengan metode Meyerhof dan metode Vesic sebagai berikut [11]:

a) Metode Mayerhof pada tanah pasir

$$Q_{p1} = A_p q' N_q \quad (6)$$

$$Q_{p2} = A_p 50 N_q^* \tan \phi \quad (7)$$

Dari kedua persamaan di atas digunakan nilai yang terkecil, dimana:

$$q' = \gamma L \quad (8)$$

Tabel 1. Nilai N_q^* berdasarkan Teori Meyerhof

Soil friction angle, ϕ (deg)	N_q^*	Soil friction angle, ϕ (deg)	N_q^*
20	12.40	33	96
21	13.80	34	115
22	15.50	35	143
23	17.90	36	168
24	21.40	37	194
25	26.00	38	231
26	29.50	39	276
27	34.00	40	346
28	39.70	41	420
29	46.50	42	525
30	56.70	43	650
31	68.20	44	780
32	81.00	45	930

dengan:

Q_p = Daya dukung ujung tiang (kg)

A_p = Luas penampang tiang (m^2)

γ = Berat isi tanah (kg/m^3)

L = Kedalaman fondasi (m)

N_q^* = Diperoleh dari Tabel 1.

b) Metode Mayerhof pada tanah lempung
Perhitungan daya dukung ujung tiang pada tanah lempung dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$Q_p = N_q^* C_u A_p = 9 C_u A_p \quad (9)$$

dengan:

C_u = kohesi tak terdrainase tanah di bawah ujung tiang (kg/m²)

c) Metode Vesic

Vesic (1977) memperkenalkan metode untuk mengestimasi daya dukung ujung pada fondasi tiang berdasarkan teori ekspansi rongga (*expansion of cavities*) [11]. Persamaan yang digunakan Vesic adalah sebagai berikut:

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c N_c^* + \sigma'_o N_\sigma^*) \quad (10)$$

dengan:

σ'_o = Rata – rata tegangan (efektif) normal tanah pada ujung tiang.

c = Kohesi (kg/m²)

N_c^* = Faktor daya dukung N_c^* dapat dilihat pada Tabel 2.

N_σ^* = Faktor daya dukung N_σ^* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Variasi N_c^* dengan I_{rr} untuk $\phi = 0$

I_{rr}	N_c^*
0	0,5
5	0,336
10	0,245
15	0,200
20	0,173
25	0,150
30	0,136
35	0,132
40	0,127
50	0,118
60	0,113
70	0,110
80	0,110
90	0,110

Tabel 3. Faktor Daya Dukung N_σ^*

ϕ'	I_{rr}									
	10	20	40	60	80	100	200	300	400	600
25	12.12	15.95	20.98	24.64	27.61	30.16	39.7	46.61	52.24	57.06
26	13.18	17.47	23.15	27.3	30.69	33.6	44.53	52.51	59.02	64.62
27	14.33	19.12	25.52	30.21	34.06	37.37	49.88	59.05	66.56	73.04
28	15.57	20.91	28.1	33.4	37.75	41.51	55.77	66.29	74.93	82.4
29	16.9	22.85	30.9	36.87	41.51	46.05	62.27	74.3	84.21	92.8
30	18.24	24.95	33.95	40.66	46.05	51.02	69.43	83.14	94.48	104.33
31	19.88	27.22	37.27	44.79	51.02	56.46	77.31	92.9	105.84	117.11
32	21.55	29.68	40.88	49.3	56.46	62.41	85.96	103.66	118.39	131.24
33	23.34	32.34	44.8	54.2	62.41	68.92	95.46	115.51	132.24	146.87
34	25.28	35.21	49.05	59.54	68.92	76.02	105.9	128.55	147.51	164.12
35	27.36	38.32	53.67	65.36	76.02	83.78	117.33	142.89	164.33	183.16
36	29.6	41.68	58.68	71.69	83.78	92.24	129.87	158.65	182.85	204.14
37	32.02	45.31	64.13	78.57	92.24	101.48	143.61	175.95	203.23	227.26
38	34.63	49.24	70.03	86.05	101.48	111.56	158.65	194.94	225.62	257.71
39	37.44	53.5	76.45	94.2	111.56	122.54	175.11	215.78	250.23	280.71
40	40.47	58.1	83.4	103.05	122.54	134.52	193.13	238.62	277.26	311.5
41	43.74	63.07	90.96	112.68	134.52	147.59	212.84	263.67	306.94	345.34
42	47.27	68.46	99.16	123.16	161.83	161.83	234.4	291.13	339.52	382.53
43	51.08	74.3	108.08	134.56	177.36	177.36	257.99	321.22	375.28	423.39
44	55.2	80.62	117.76	146.97	194.31	194.31	283.8	354.2	414.51	468.28
45	59.66	87.48	128.28	160.48	212.79	212.79	312.03	390.35	457.57	517.58

2.3. Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s) Dari Hasil Data Parameter c dan ϕ

Daya dukung friksi atau daya dukung selimut tiang pada tanah pasir dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad (11)$$

Tahanan friksi (f) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f = K \sigma'_v \tan \delta \quad (12)$$

dengan:

p = keliling penampang tiang (m)

ΔL = panjang tiang (m)

f = tahanan friksi, yang dihitung dengan beberapa metode.

K = koefisien tekanan tanah lateral

σ'_v = tegangan efektif vertikal tanah

δ = sudut gesek tanah – tiang ($\delta = 0,5\phi - 0,8\phi$)

Untuk tanah lempung, daya dukung selimut tiang (Q_s) dihitung dengan metode:

a) Metode α

Perhitungan daya dukung selimut dengan metode α dapat ditung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = \sum f \Delta L f \tag{13}$$

$$f = \alpha C_u \tag{14}$$

dengan:

α = faktor adhesi empiris

C_u = kohesi tanah tak terdrainase (*undrained cohesion*)

Variasi faktor adhesi empiris (α) terhadap C_u/P_a dengan nilai-nilai interpolasi didasarkan pada faktor adhesi menurut Terzaghi [11].

b) Metode λ

Vijaivergiya dan Focht (1972) memberikan metode untuk mendapatkan tahanan kulit dari suatu tiang di dalam lempung dengan persamaan [9–10] :

$$Q_s = p L f_{av} \tag{15}$$

$$f_{av} = \lambda(\sigma'_v + 2C_u) \tag{16}$$

dengan:

σ'_v = Tegangan efektif vertikal rata-rata di sepanjang kedalaman tiang

C_u = Kohesi tanah tak terdrainase

Nilai λ bervariasi sesuai dengan kedalaman tiang. Untuk nilai λ dapat dilihat pada grafik berikut (Tabel 4)

Tabel 4. Variasi nilai koefisien λ terhadap kedalaman penetrasi tiang

Kedalaman Tiang, L (m)	λ
0	0,5
5	0,336
10	0,245
15	0,200
20	0,173
25	0,150
30	0,136
35	0,132
40	0,127
50	0,118
60	0,113
70	0,110
80	0,110
90	0,110

2.4. Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Tomlinson menyarankan faktor aman tiang pancang [12–14]:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \tag{17}$$

Reese dan O'Neill (1989) menyarankan pemilihan Faktor aman (F_s) untuk perancangan fondasi tiang yang dipertimbangkan faktor-faktor: tipe dan kepentingan dari

struktur, variabilitas tanah (tanah tidak *uniform*), ketelitian penyelidikan tanah, tipe dan jumlah uji tanah yang dilakukan, ketersediaan data di tempat (uji beban tiang), pengawasan/kontrol kualitas di lapangan dan kemungkinan beban design aktual yang terjadi selama beban layan struktur. Tabel 5 adalah nilai-nilai faktor aman (F_s) yang digunakan sebagai nilai pembagi untuk daya dukung fondasi tiang yang disarankan oleh Reese dan O'Neill (1989) [11].

Tabel 5. Faktor keamanan

Klasifikasi Struktur	Faktor Keamanan			
	Baik	Normal	Buruk	Sangat Buruk
Monumental	2,3	3	3,5	4,0
Permanen	2,0	2,5	2,8	3,4
Sementara	1,4	2,0	2,3	2,8

2.5. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Metode semi empiris digunakan untuk menghitung penurunan tiang tunggal. Penurunan elastis fondasi tiang tunggal akibat beban vertikal yang bekerja dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \tag{18}$$

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \tag{19}$$

$$S_2 = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \tag{20}$$

$$S_3 = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \tag{21}$$

dengan:

S = Penurunan elastis total fondasi tiang tunggal (mm)

S_1 = Penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal (mm)

S_2 = Penurunan dari ujung tiang (mm)

S_3 = Penurunan akibat beban yang dialihkan (mm)

2.6. Tiang Mendukung Beban Lateral

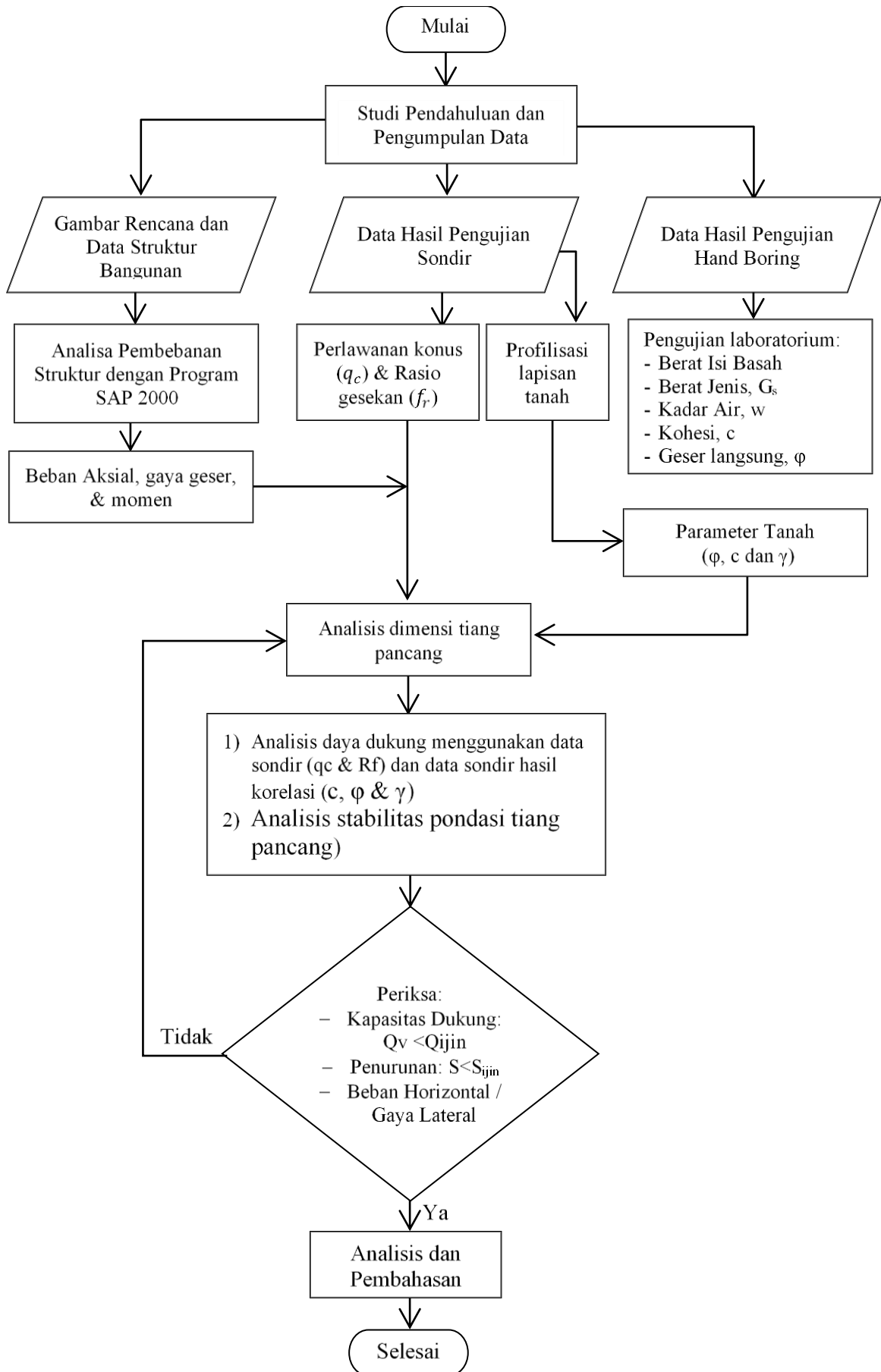
Fondasi tiang sering harus dirancang dengan memperhitungkan beban-beban horizontal. Besarnya beban lateral yang harus didukung fondasi tiang bergantung pada rangka bangunan yang mengirimkan gaya lateral tersebut ke kolom bagian bawah. Gaya lateral yang terjadi pada tiang bergantung pada kekakuan atau tipe tiang, macam tanah, penanaman ujung tiang ke dalam *pile cap*, sifat gaya-gaya dan besar defleksi. Jika gaya lateral yang harus didukung tiang sangat besar, maka dapat digunakan tiang miring [12–14].

2.7. Analisis Struktur Dengan Program SAP 2000

Analisis struktur dilakukan menggunakan program SAP 2000 22 *Evaluation version* yang didasari dengan peraturan gempa di Indonesia SNI 1726 – 2019 dan SNI 1727 – 2013 Peraturan pembenanan Indonesia sehingga didapatkan nilai beban aksial, gaya geser dan momen yang digunakan dalam perencanaan fondasi [15].

2.8. Bagan Alir Penelitian

Sistematika penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alir (flowchart) analisis pondasi tiang pancang

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Profilisasi Lapisan Tanah

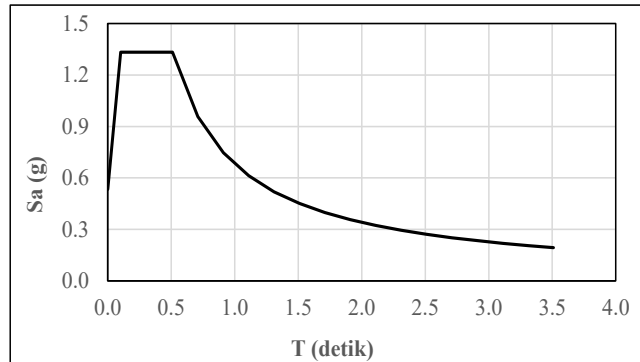
Berdasarkan data sondir, diketahui bahwa titik sondir 1 (S1) merupakan tanah setempat dengan daya dukung jelek. Oleh karena itu perlu dibuat profil lapisan tanah yang dijadikan acuan dalam perencanaan. Adapun profil lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter tanah dasar data sondir

Z (m)	H (m)	Deskripsi Tanah	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ³)
2.8	2.8	Lanau OC - Lanau Berpasir	1807.4	34.5	582.5
4.6	1.8	Pasir Berlanau - Lanau OC	1958.3	38.3	591.1
7.8	3.2	Lempung OC - Lempung	1917.7	30.4	1617.7
8.8	1	Pasir	2003.9	41.2	0.0

3.2. Analisa Pembebanan

Perhitungan pembebanan struktur berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia SNI-1727-2013, sedangkan perhitungan terhadap beban gempa berdasarkan SNI-1726-2019. Pembebanan pada fondasi seperti pada Tabel 7 dengan desain respon spektrum Gambar 2.



Gambar 2. Desain Respon Spektrum

Tabel 7. Beban yang bekerja pada fondasi

Nomor Kolom	P kgf	V2 kgf	V3 kgf	M2 kgf.m	M3 kgf.m
K1	49430.73	5888.44	6128.07	12343.92	14358.71
K2	58438.75	8736.27	6244.27	12505.82	16460.82
K3	58075.41	8693.89	6800.36	13293.19	16423.32
K4	65939.32	8891.47	9585.65	24711.22	19399.67
K5	66362.81	8909.31	9734.70	25000.32	19403.55
K6	58829.76	8664.68	7070.96	13923.39	16375.28
K7	64201.30	8505.28	6640.67	13459.56	16251.35
K8	49467.79	8686.19	5801.59	13627.65	16393.97
K9	54787.37	5866.03	6831.44	14025.56	14317.26
K10	61321.70	6103.24	7956.84	13862.76	14604.91
K11	72466.83	8994.81	7752.53	14060.65	16777.33
K12	72364.84	8924.99	8645.13	15150.06	16715.39
K13	78296.82	9229.27	11799.77	26815.69	19770.30
K14	78337.00	9334.75	11926.33	27124.57	19886.45
K15	72517.81	8979.31	8962.15	15626.53	16731.68
K16	76080.48	8871.92	8328.59	14807.22	16727.28
K17	52544.02	8700.09	8233.89	15102.37	16654.97
K18	56609.69	6254.13	8648.29	15473.62	14840.60
K19	54621.95	5895.35	8747.29	14710.89	14191.55
K20	60688.10	8736.45	8707.47	14738.22	16364.08
K21	57222.84	8704.18	6901.94	13423.32	16332.08
K22	61825.94	8924.10	13147.67	27644.59	19264.87
K23	61867.41	8956.63	13294.49	27962.09	19300.91
K24	58159.77	8673.25	7209.43	14095.69	16286.87
K25	65221.55	8492.65	9284.79	15473.34	16152.43
K26	60068.43	8622.06	9673.47	16135.04	16274.02
K27	60324.87	5848.35	9722.47	16204.19	14210.16
K28	46470.92	5854.26	6861.70	13051.77	13945.93
K29	45976.05	5894.69	7015.78	13197.64	13979.93
K30	50206.40	6128.10	10983.72	24774.03	14860.57
K31	49233.15	6127.52	11194.95	25258.03	14852.15
K32	48144.29	5649.52	7577.54	14101.94	13784.33
K33	51244.79	8348.47	8007.63	14436.78	15811.45
K34	46687.10	5609.28	7845.69	14727.69	13759.73

Tabel 8. Daya dukung izin tiang pancang tunggal berdasarkan data sondir

No	Dimensi		As	Ap	f _s	Q _s	ω1	ω2	Q _b	Q _u	Q _a	Q _v	Kontrol
	L	D											
	m	m	m	m ²	kN/m ²	kN			kN	kN	kg	kg	Q _a > Q _v
1	8.20	0.25	0.79	0.05	133.66	860.37	1.0	1.0	752.32	1603.03	65403.74	78337	TIDAK
2	8.20	0.30	0.94	0.07	133.66	1032.44	1.0	1.0	1047.56	2066.10	84296.76	78337	AMAN
3	8.20	0.35	1.10	0.10	133.66	1204.52	1.0	1.0	1389.32	2574.91	105056.24	78337	AMAN
4	8.20	0.40	1.26	0.13	133.66	1376.59	1.0	1.0	1773.94	3125.81	127533.02	78337	AMAN
5	8.20	0.45	1.41	0.16	133.66	1548.66	1.0	1.0	2207.35	3724.73	151968.96	78337	AMAN
6	8.20	0.50	1.57	0.20	133.66	1720.74	1.0	1.0	2683.14	4365.25	178102.30	78337	AMAN
7	8.20	0.55	1.73	0.24	133.66	1892.81	0.9	1.0	2819.24	4665.31	190344.79	78337	AMAN

Tabel 9. Diameter rencana fondasi pada tiap titik kolom berdasarkan data sondir

Nomor Kolom	Dimensi		Q _a	Q _v	Kontrol (Q _a > Q _v)
	L (cm)	D (cm)			
K1	820	30	65647.3	49430.7	AMAN
K2	820	30	65647.3	58438.8	AMAN
K3	820	30	65647.3	58075.4	AMAN
K4	820	35	87091.3	65939.3	AMAN
K5	820	35	87091.3	66362.8	AMAN
K6	820	30	65647.3	58829.8	AMAN
K7	820	30	65647.3	64201.3	AMAN
K8	820	30	65647.3	49467.8	AMAN
K9	820	30	65647.3	54787.4	AMAN
K10	820	30	65647.3	61321.7	AMAN
K11	820	35	87091.3	72466.8	AMAN
K12	820	35	87091.3	72364.8	AMAN
K13	820	35	87091.3	78296.8	AMAN
K14	820	35	87091.3	78337.0	AMAN
K15	820	35	87091.3	72517.8	AMAN
K16	820	35	87091.3	76080.5	AMAN
K17	820	30	65647.3	52544.0	AMAN
K18	820	30	65647.3	56609.7	AMAN
K19	820	30	65647.3	54622.0	AMAN
K20	820	30	65647.3	60688.1	AMAN
K21	820	30	65647.3	57222.8	AMAN
K22	820	30	65647.3	61825.9	AMAN
K23	820	30	65647.3	61867.4	AMAN
K24	820	30	65647.3	58159.8	AMAN
K25	820	30	65647.3	65221.6	AMAN
K26	820	30	65647.3	60068.4	AMAN
K27	820	30	65647.3	60324.9	AMAN
K28	820	30	65647.3	46470.9	AMAN
K29	820	30	65647.3	45976.1	AMAN
K30	820	30	65647.3	50206.4	AMAN
K31	820	30	65647.3	49233.2	AMAN
K32	820	30	65647.3	48144.3	AMAN
K33	820	30	65647.3	51244.8	AMAN
K34	820	30	65647.3	46687.1	AMAN

Tabel 10. Diameter rencana fondasi pada tiap titik kolom berdasarkan parameter kuat geser tanah

Nomor Kolom	Dimensi		Q _a	Q _v	Kontrol (Q _a > Q _v)
	L (cm)	D (cm)			
K1	820	30	65647.3	49430.7	AMAN
K2	820	30	65647.3	58438.8	AMAN
K3	820	30	65647.3	58075.4	AMAN
K4	820	35	87091.3	65939.3	AMAN
K5	820	35	87091.3	66362.8	AMAN
K6	820	30	65647.3	58829.8	AMAN
K7	820	30	65647.3	64201.3	AMAN
K8	820	30	65647.3	49467.8	AMAN
K9	820	30	65647.3	54787.4	AMAN
K10	820	30	65647.3	61321.7	AMAN
K11	820	35	87091.3	72466.8	AMAN
K12	820	35	87091.3	72364.8	AMAN
K13	820	35	87091.3	78296.8	AMAN
K14	820	35	87091.3	78337.0	AMAN
K15	820	35	87091.3	72517.8	AMAN
K16	820	35	87091.3	76080.5	AMAN
K17	820	30	65647.3	52544.0	AMAN
K18	820	30	65647.3	56609.7	AMAN
K19	820	30	65647.3	54622.0	AMAN
K20	820	30	65647.3	60688.1	AMAN
K21	820	30	65647.3	57222.8	AMAN
K22	820	30	65647.3	61825.9	AMAN
K23	820	30	65647.3	61867.4	AMAN
K24	820	30	65647.3	58159.8	AMAN
K25	820	30	65647.3	65221.6	AMAN
K26	820	30	65647.3	60068.4	AMAN
K27	820	30	65647.3	60324.9	AMAN
K28	820	30	65647.3	46470.9	AMAN
K29	820	30	65647.3	45976.1	AMAN
K30	820	30	65647.3	50206.4	AMAN
K31	820	30	65647.3	49233.2	AMAN
K32	820	30	65647.3	48144.3	AMAN
K33	820	30	65647.3	51244.8	AMAN
K34	820	30	65647.3	46687.1	AMAN

3.3. Analisa Pondasi Tiang

Dalam analisis ini digunakan tiang pancang beton pracetak dan diameter yang seragam dengan beban yang diterima oleh fondasi. Untuk contoh perhitungan daya dukung ditinjau titik kolom yang menerima beban terbesar dengan dimensi dan data data perencanaan sebagai berikut:

- Diameter tiang pancang, D (m) = 0,30 m dan 0,35m
- Panjang tiang rencana, L (m) = 8,20 m
- Elevasi muka air tanah (m) = -0,75 m
- Beban maksimum aksial, Qv (kg) = 78337,00 kg

3.4. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir

Dari hasil analisis daya dukung izin tiang berdasarkan hasil uji sondir menggunakan metode Mayerhof dengan perencanaan dimensi tiang (D) = 30 cm dan kedalaman (L)

= 820 cm, nilai daya dukung izin terhadap beban yang bekerja telah memenuhi syarat $Q_a > Q_v$. Daya dukung tiang ijin dan lapangan berdasarkan data sondir dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

3.5. Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Parameter Tanah ϕ dan c

Pada perhitungan perencanaan fondasi tiang pancang direncanakan diameter fondasi tiang 0,35 m dan panjang tiang yaitu 8,20 m. Dari hasil profilisasi lapisan tanah berdasarkan hasil uji sondir Gambar 10 dan penentuan nilai parameter tanah (ϕ dan c) berdasarkan metode Mayne [16–18], hasil identifikasi jenis tanah yang terdapat pada lokasi penelitian pada kedalaman 8,20 m adalah pasir dengan sudut geser (ϕ) = 41,164° dengan kohesi (c) = 0. Daya dukung tiang lapangan dan ijin berdasarkan parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 11. Daya dukung izin berdasarkan data parameter kuat geser tanah (c dan ϕ)

L m	D m	As m	Ap m ²	Qp kg	Qs kg	Qu kg	Qa kg	Qv kg	Kontrol Qa > Qv
8.2	0.25	0.79	0.05	93775.31	24234.74	118010.05	47204.02	78337.00	TIDAK
8.2	0.30	0.94	0.07	135036.45	29081.69	164118.14	65647.26	78337.00	TIDAK
8.2	0.35	1.10	0.10	183799.62	33928.63	217728.25	87091.30	78337.00	AMAN
8.2	0.40	1.26	0.13	240064.81	38775.58	278840.39	111536.15	78337.00	AMAN
8.2	0.45	1.41	0.16	303832.02	43622.53	347454.55	138981.82	78337.00	AMAN
8.2	0.50	1.57	0.20	375101.26	48469.48	423570.73	169428.29	78337.00	AMAN
8.2	0.55	1.73	0.24	453872.52	53316.42	507188.95	202875.58	78337.00	AMAN
8.2	0.60	1.88	0.28	540145.81	58163.37	598309.18	239323.67	78337.00	AMAN

Tabel 12. Perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal menurut data parameter kuat geser tanah (c dan ϕ)

No	L cm	D cm	Qp Total kg	Qs Total kg	Qv kg	Qwp kg	Qws kg	S1 cm	S2 cm	S3 cm	S mm	Kontrol S < 150 mm
1	820	30	135036.45	29081.69	78337.00	64455.71	13881.29	0.39	0.71	0.01	11.03	AMAN
	820	35	183799.62	33928.63	78337.00	66129.73	12207.27	0.29	0.82	0.01	11.23	AMAN
	820	40	240064.81	38775.58	78337.00	67443.45	10893.55	0.22	0.94	0.01	11.77	AMAN
2	820	30	135036.45	29081.69	65221.55	53664.31	11557.24	0.32	0.71	0.01	10.39	AMAN
	820	35	183799.62	33928.63	65221.55	55058.06	10163.49	0.24	0.82	0.01	10.75	AMAN
	820	40	240064.81	38775.58	65221.55	56151.83	9069.72	0.19	0.94	0.01	11.39	AMAN

Tabel 13. Perhitungan penurunan fondasi tiang tunggal dengan data sondir

No	L cm	D cm	Qb Total kg	Qs Total kg	Qv (maks) kg	Qwp kg	Qws kg	S1 cm	S2 cm	S3 cm	S mm	Kontrol S < 150 mm
1	820	25	752.32	860.37	65221.55	30425.90	34795.65	0.37	0.79	0.05	12.07	AMAN
	820	30	1047.56	1032.44	65221.55	32847.79	32373.76	0.27	0.71	0.05	10.17	AMAN
	820	35	1389.32	1204.52	65221.55	34934.18	30287.37	0.20	0.82	0.05	10.76	AMAN
2	820	30	1773.94	1376.59	78337.00	44108.49	34228.51	0.33	0.71	0.04	10.74	AMAN
	820	35	2207.35	1548.66	78337.00	46037.44	32299.56	0.25	0.82	0.04	11.14	AMAN
	820	40	2683.14	1720.74	78337.00	47728.20	30608.80	0.19	0.94	0.05	11.83	AMAN

Tabel 14. Gaya lateral tiang pancang

L m	D m	Ap m ²	$\alpha \times L$	My kN.m	M _{mak} kN	H _u kN	H _s kN	y _o mm	y _o cm
8.20	0.350	0.096	5.661	34.256	18342.637	60.249	20.083	0.009	0.0009

3.6. Penurunan Fondasi Tiang Tunggal Dengan Data Parameter (c dan ϕ) dan Data Sondir

Pada perhitungan penurunan segera pada fondasi tiang tunggal menggunakan metode Semi-Empiris. Berikut ini adalah hasil perhitungan penurunan berdasarkan nilai kapasitas dukung dan dimensi fondasi tiang yang aman dan ekonomis, dapat di lihat pada Tabel 12 dan Tabel 13.

3.7. Kapasitas Dukung Lateral (Beban Horizontal) dan Defleksi

Analisis gaya lateral terhadap tiang pancang dan defleksi dengan menganggap tiang berkelakuan tiang panjang dengan metode Broms. Hasil analisis kapasitas dukung lateral tiang dapat dilihat pada Tabel 14. McNulty (1965) menjelaskan bahwa perpindahan lateral ijin atau defleksi (y_0) yang terjadi untuk bangunan gedung ialah 6 mm [19–22].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- 1) Alternatif Fondasi tiang pancang pada Gedung Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana (P2KB) Palu ini menggunakan tiang dengan kedalaman penetrasi 8,20 m. Berdasarkan dimensi yang ditetapkan, tiang pancang tunggal telah memenuhi syarat daya dukung terhadap beban yang bekerja. Untuk daya dukung ijin, hasil perhitungan menggunakan data sondir memberikan dimensi tiang yang bervariasi yaitu, $D = 0,35$ m dan $D = 0,40$ m. Sedangkan pada perhitungan menggunakan data parameter c dan ϕ telah memenuhi daya dukung ijin dan penurunan pada jenis tiang tunggal dengan diameter yang bervariasi yaitu, $D = 0,40$ m, dan $D = 0,45$ m yang disesuaikan terhadap beban yang bekerja. Penggunaan dimensi yang bervariasi bertujuan pada efisiensi penggunaan tiang pancang.
- 2) Perbandingan dan alasan:
 - a) Nilai daya dukung yang diperoleh dari data sondir dan parameter kuat geser menghasilkan nilai yang berbeda, hal ini di tunjukan dengan kebutuhan dimensi yang lebih besar berdasarkan parameter kuat geser tanah (c dan ϕ). Begitu pula dengan hasil perhitungan penurunan yang tidak berbeda jauh terhadap dimensi yang direncanakan. Nilai daya dukung dan penurunan tiang pancang telah memenuhi syarat keamanan, serta aman terhadap gaya lateral ijin dan defleksi yang terjadi pada tiang.
 - b) Berdasarkan hasil analisi, lebih direkomendasikan hasil analisis dengan data sondir dijadikan sebagai acuan ataupun ketetapan dalam pelaksanaan dilapangan. Hal ini disebabkan karena data perencanaan yang dilakukan dengan data parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) hanya merupakan data hasil korelasi dari data sondir (bukan pengujian lapangan), berbeda halnya dengan data sondir yang diperoleh dengan berdasarkan pengujian di lapangan.

Daftar Pustaka

- [1] F. Luthfiani, I. Nurhuda, and I.D. Atmanto, "Analisis Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang dan Rakit Pada Proyek Pembangunan Apartemen Surabaya Central Business District," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, p. 166, 2017.
- [2] H. Husnah, "Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Pondasi Tissue Block 5 & 6", *Siklus*, vol. 1, no. 1, p. 15 , 2015.
- [3] D. Tanjung and A.B. Nusa, "Pengaruh Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gis (Gas Insulated Switch Gear) di Kecamatan Payung Sekaki Pekanbaru", *Buletin Utama Teknik*, vol. 14, no. 1, p. 41, 2018.
- [4] N. Boka, *Perencanaan Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Radiologi Rumah Sakit Umum Anutapura Palu-Tugas Akhir*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2018.
- [5] M. Fahrur, *Perencanaan Fondasi Tiang pada Tower Telkomsel Jalan Banteng Kota Palu-Tugas Akhir*. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2018.
- [6] B. Rotinsulu, *Perencanaan Fondasi Gedung Perkantoran 5 Lantai Menggunakan Tiang Pancang Pada RSUD Anutapura Palu-Tugas Akhir*. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2017.
- [7] CV. STB 64, *Laporan Hasil Pengujian Tanah (Sondir & Hand Boring) Lokasi Pembangunan Gedung Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana (P2KB)*, Palu: Dinas Pekerjaan Umum Kota Palu, 2018.
- [8] A. Kose, *Perencanaan Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Poso CITY MALL-Tugas Akhir*, Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako, 2016.
- [9] J.E. Bowles, *Analisa dan Desain Pondasi*, Jakarta: Erlangga, 1997.
- [10] J.E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.
- [11] B.M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, USA: Cengage Learning, 2011.
- [12] H.C. Hardiyatmo, *Teknik Pondasi 2*, Yogyakarta: Beta Offset, 2006.
- [13] H.C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Pondasi I*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press., 2014.
- [14] H.C. Hardiyatmo. *Analisis dan Perancangan Pondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press., 2015.
- [15] Tim Penyusun, *SNI 03-1726-2019-Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2012
- [16] P.W. Mayne, "Interpretation of Geotechnical Parameters from Seismic Piezocone Tests" *Prosiding*

- the 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*, p.47, 2014.
- [17] P.P. Rahardjo, *Manual Fondasi Tiang*, Bandung: Universitas Parahyangan, 1997.
- [18] A.I. Candra, A.Yusuf, and A. Rizky, “Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pada Pembangunan Gedung LP3M Universitas Kadiri”, *Civilla*, vol. 3, no. 2, p. 166, 2018.
- [19] E. Yuliawan and T. Rahayu, “Analisis Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Berdasarkan Pengujian Spt Dan Cyclic Load Test”, *Jurnal Konstruksia*, vol. 9, no. 2, p. 76, 2018.
- [20] Nuryanto and S. Wulandari, “Perencanaan Pondasi Tiang Pada Tanah Lempung”, *Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur & Teknik Sipil)*, vol. 5, p. 10, 2013.
- [21] F. Febriantoro, Y.C.S. Purnomo, and A. Ridwan, “Study Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Jembatan Sembayat Baru II Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik”, *Jurmateks*, vol. 1, no. 1, p. 148, 2018.
- [22] I.G.N.P. Dharmayasa and I.G.L.B. Eratodi, “Analisis Dinding Penahan Tanah Dengan Pondasi Tiang Bor (Studi Kasus Tower PLN SSUTT 150kV No. 71 di Jalan Gatot Subroto Barat Denpasar”, *Dinamika Rekayasa*, vol. 12, no. 2, p. 71, 2016.