

Analisis Daya Dukung Pile-Raft Foundation pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Negara Kementerian Keuangan RI (Rusunara Kemenkeu) Kemanggisan-Jakarta Barat

Syahrizan Fajar^{ID}, Ishak^{ID}, Deddy Kurniawan^{ID}

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
Bukittinggi, Indonesia

Abstrak. Proyek pembangunan Rumah Susun Negara Kementerian Keuangan RI di Kemanggisan, Jakarta Barat, menggunakan sistem fondasi *pile-raft* sebagai solusi struktur bawah bangunan bertingkat. Sistem ini menggabungkan tiang pancang dan pelat rakit untuk meningkatkan daya dukung fondasi dan mengurangi penurunan diferensial pada tanah dengan kondisi sedang hingga lunak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung fondasi pile-raft berdasarkan hasil investigasi tanah di lapangan, dengan memanfaatkan data uji sondir (CPT), SPT, serta data laboratorium tanah. Perhitungan kapasitas tiang dilakukan menggunakan pendekatan empiris Aoki-De Alencar untuk data sondir dan metode Mayerhof untuk data SPT. Selain itu, efisiensi kelompok tiang turut dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh interaksi antar tiang. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung tertinggi pada tiang tunggal mencapai 1441 ton, sedangkan pada kelompok tiang dengan efisiensi tertinggi ($E_g = 0,631$) kapasitasnya mencapai lebih dari 18.000 ton. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa fondasi pile-raft yang direncanakan mampu menahan beban struktur secara aman. Penelitian ini memberikan gambaran teknis mengenai perencanaan fondasi dalam pada tanah berkondisi marginal dan dapat menjadi acuan dalam desain fondasi bangunan bertingkat di kondisi serupa.

Kata kunci: *pile-raft foundation*; daya dukung tiang; spun pile; sondir; SPT; efisiensi tiang.

1. Pendahuluan

Pertumbuhan ekonomi di kota besar seperti Jakarta mendorong kebutuhan akan hunian vertikal yang layak, terutama bagi Aparatur Sipil Negara (ASN). Menjawab kebutuhan tersebut, Kementerian Keuangan membangun Rumah Susun Negara (Rusunara) di Kemanggisan, Jakarta Barat. Proyek ini menggunakan sistem fondasi pile-raft, yang menggabungkan tiang pancang dan

* Penulis korespondensi: fajarsyahrizan@gmail.com

pelat rakit untuk mendistribusikan beban secara efisien ke tanah dengan daya dukung sedang hingga rendah. Pemilihan sistem pile-raft dilakukan atas dasar efisiensi dan kestabilan struktur, dengan tujuan mengurangi penurunan diferensial dan meningkatkan kapasitas daya dukung fondasi. Sejumlah studi sebelumnya mendukung efektivitas sistem ini dalam memperbaiki performa fondasi pada tanah marginal.

Studi yang dilakukan oleh (Yoon, 2025) mengembangkan metode sederhana untuk memperkirakan penurunan pada fondasi pile-raft terputus, dengan mempertimbangkan interaksi antara raft, bantalan, dan tiang. Sementara itu, penelitian oleh (Kumar, 2023) mengevaluasi kinerja sistem fondasi pile-raft terputus di tanah lempung lunak, menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas lateral.

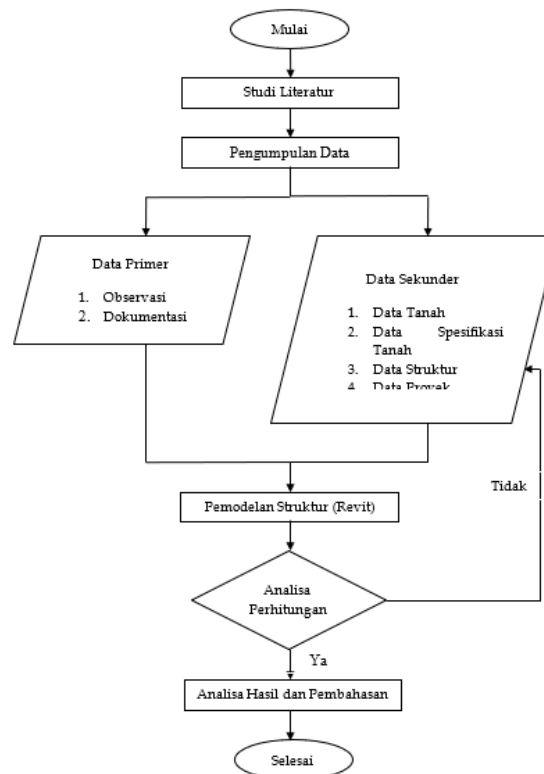
Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas daya dukung pile-raft foundation pada proyek Rusunara Kemenkeu menggunakan data investigasi tanah di lapangan serta metode perhitungan sesuai standar teknis dan literatur geoteknik. Penelitian ini diharapkan memberikan rekomendasi teknis untuk perencanaan fondasi bangunan bertingkat di lahan dengan karakteristik serupa, serta menjadi referensi dalam pelaksanaan proyek sejenis di masa mendatang.

2. Metodologi Penelitian

Data primer dalam studi kasus proyek pembangunan Rumah Susun Negara milik Kementerian Keuangan Republik Indonesia diperoleh melalui observasi langsung di lapangan serta wawancara dengan pihak-pihak terkait dalam proyek. Selain itu, dokumentasi berupa foto-foto kegiatan pelaksanaan juga dikumpulkan sebagai data primer dan dicantumkan dalam bagian lampiran.

Data sekunder yang diperoleh dalam proyek ini meliputi:

- a. Data Tanah
Informasi tanah yang digunakan dalam penyusunan laporan akhir ini bersumber dari data uji lapangan, yaitu Standard Penetration Test (SPT) dan sondir.
- b. Data Spesifikasi Teknis
Spesifikasi teknis yang dimanfaatkan berupa informasi mengenai bahan dan material yang mengacu pada ketentuan serta pedoman teknis yang berlaku dalam pelaksanaan proyek pembangunan Rumah Susun Negara oleh Kementerian Keuangan Republik Indonesia.
- c. Data proyek
Denah Titik Pancang (Spun Pile)



Gambar 1: Bagan Alir

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Parameter Tanah Hasil Soil Test

3.1.1 Hasil Uji Laboratorium

Hasil pengujian laboratorium disajikan dalam bentuk tabel yang memuat parameter-parameter tanah sebagaimana ditampilkan berikut.

Tabel 1: Nilai Parameter Tanah BH-1 s.d. BH-2

Titik Bor		BH-1			BH-2	
Sample depth, m		2.5-3.5	18.5-19.0	39.5-40.0	4.5-5.0	8.5-9.0
Water content, %		68	62	55	80	55
Specific gravity, G_s		2.73	2.50	2.71	2.67	2.63
Unit weight, ton/m ³		1.50	1.53	1.60	1.44	1.54
Degree of saturation, %		90	94	92	91	88
Atterberg Limits						
Liquid limit, %		125	82	63	101	95
Plastic limit, %		41	48	32	42	37
Plasticity index, %		84	34	31	59	58
Visual soil description		Silty clay, with a trace of sand, greyish brown	Clayey silt, with a trace of sand, brownish grey	Clayey silt, with a little of sand, light grey	Clayey silt, with a trace of sand, brownish grey	Silty clay, with a trace of sand, light brownish grey

Titik Bor		BH-1		BH-2	
Unified soil	CH	MH	MH	CH/MH	CH
Triaxial test					
Cohesion, kg/cm ²				0.10	0.47
Angle of int. Friction				8	23
Consol. Test					
Precons.	Press,	3.5	8.0		
kg/cm ²					
Compression index,		0.639	0.773		
Cc					

3.1.2 Hasil Uji Sondir

Data hasil pengujian dicatat pada setiap interval penetrasi sepanjang 20 cm

Tabel 2: Hasil Uji Sondir

No Sondir	Depth (m)	qc akhir (kg/cm ²)	Total Cum. Friction (kg/cm ²)	Friction Ratio (%)
S.1	11.40	250	1185.33	1.67
S.2	9.80	250	884.00	2.22
S.3	11.60	250	1190.67	1.11
S.4	11.20	250	1137.33	1.67
S.5	11.20	250	926.67	0.54
S.6	10.20	250	874.67	1.67
S.7	9.80	250	864.00	2.22

3.1.3 Hasil Uji SPT (Standard Penetration Test)

Pengujian Standard Penetration Test (SPT) dilakukan menggunakan sistem coring dan hammer otomatis dengan efisiensi energi sekitar 76,3% untuk mengetahui kondisi stratigrafi dan kekerasan relatif tanah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa lapisan tanah atas umumnya berupa urugan dan material keras (aspal/beton) dengan ketebalan 0,5–2,0 meter.

Pada kedalaman 3,0–6,5 meter, ditemukan lempung dengan konsistensi sangat lunak hingga lunak, sedangkan pada kedalaman 5,0–7,5 meter dominan tanah lempung dengan konsistensi sedang hingga teguh. Lebih dalam lagi, hingga 10,5 meter, tanah menjadi lebih kohesif dengan konsistensi teguh hingga sangat teguh, terutama di titik BH-5 sampai BH-10.

Sementara itu, pada titik BH-1 sampai BH-4, ditemukan lapisan lanau sangat teguh hingga keras dan pasir padat hingga sangat padat. Secara keseluruhan, tanah pada lapisan atas kurang layak sebagai tumpuan pondasi dangkal, sementara lapisan yang lebih dalam memiliki sifat mekanik lebih baik dan sesuai untuk pondasi dalam.

3.2 Perhitungan Pile-Raft Foundation

3.2.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

a. Berdasarkan data sondir

Perhitungan daya dukung pondasi tiang tunggal pada S-1:

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\
 q_b &= \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \\
 q_{ca} &= 250 \text{ kg/cm}^2 = 25000 \text{ kN/m}^2 \\
 q_b &= 25000/1.75 = 14285.71 \text{ kN/m}^2 \\
 A_b &= 0.1963 \text{ m}^2 \\
 f_s &= 0.016 \times 25000 \text{ kN} = 417.5 \text{ kN/m}^2 \\
 A_s &= 20.42 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$\begin{aligned}
 Q_b &= q_b \times A_b \\
 &= 14285.71 \text{ kN/m}^2 \times 0.1963 \text{ m}^2 \\
 &= \mathbf{2804.29 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

Tahanan gesek selimut sepanjang tiang (Q_s)

$$\begin{aligned}
 Q_s &= \sum(f_s \cdot A_s) \\
 &= 417.5 \text{ kN/m}^2 \times 20.42 \text{ m}^2 \\
 &= \mathbf{8525.35 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

Daya dukung tiang ultimit (Q_{ult})

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= Q_b + Q_s \\
 &= 2804.29 \text{ kN} + 8525.35 \text{ kN} \\
 &= \mathbf{11329.64 \text{ kN}}
 \end{aligned}$$

Daya dukung ijin pondasi (Q_{ijin})

$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= Q_{ult} / F_s \\
 &= 11329.64 \text{ kN} / 3 \\
 &= 3776.54 \text{ kN} \\
 &= \mathbf{384.97 \text{ ton}}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, hasil perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode Aoki De Alencar direkapitulasi dalam tabel berikut:

Tabel 3: Rekapitulasi daya dukung ultimit dan ijin pondasi untuk setiap titik sondir (Aoki De Alencar)

No Sondir	qc akhir (kg/cm ²)	Ap (m ²)	Qult (ton)	Qijin (ton)
S.1	250	0.1963	1154.91	384.97
S.2	250	0.1963	1441.12	480.37
S.3	250	0.1963	863.49	287.83
S.4	250	0.1963	1154.91	384.97
S.5	250	0.1963	566.87	188.96
S.6	250	0.1963	1154.91	384.97
S.7	250	0.1963	1441.12	480.37

b. Berdasarkan data SPT

Perhitungan daya dukung tiang pancang per lapisan dari data SPT memakai metode (*Mayerhof 1976*) dan data diambil pada titik BH-1 pada jenis tanah kohesif:

- a. Daya dukung ujung tiang pondasi tiang pancang (Spun pile) pada titik BH-1:

Untuk lapisan tanah kedalaman 13 m.

$$Q_b = q_b \times A_b$$

$$q_b = 0.4 \text{ N} \times \sigma'_v$$

$$A_b = \pi/4 \times d^2$$

$$\sigma'_v = \gamma \times z$$

Perhitungan tegangan vertikal efektif (σ'_v)

$$(\sigma'_v) = \gamma \times z$$

$$= 15.0 \text{ kN/m}^2 \times 13 \text{ m}$$

$$= 195.12 \text{ kN/m}^2$$

Metode *mayer hoof* (1976) untuk tanah kohesif (q_b)

$$q_b = 0.4 \text{ N} \times \sigma'_v$$

$$= 0.4 \times 25 \times 195.12 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1951.21 \text{ kN/m}^2$$

Luas ujung tiang (A_b)

$$A_b = \pi/4 \times d^2$$

$$= 3.14/4 \times 0.5^2$$

$$= 0.19625 \text{ m}^2$$

Daya dukung ujung tiang (Q_b)

$$Q_b = q_b \times A_b$$

$$= 1951.21 \text{ kN/m}^2 \times 0.19625 \text{ m}^2$$

$$= 382.925 \text{ kN}$$

$$= \mathbf{39.034 \text{ ton}}$$

Selanjutnya, perhitungan daya dukung ujung tiang (Q_b) berdasarkan metode *Mayerhof* (1976) akan di rekapitulasi pada tabel berikut:

Tabel 4: Rekapitulasi daya dukung ujung tiang ultimit untuk setiap titik BH (Mayerhof 1976)

No Sondir	σ'_v (kN/m ²)	A_b (m ²)	Q_b (kN/m ²)	Q_b (kN)	Q_b (ton)
BH.1	195.121	0.1963	1951.21	382.925	39.0341
BH 2	196.396	0.1963	1963.96	385.428	39.2893
BH.3	201.497	0.1963	3062.76	601.087	61.2708
BH.4	224.453	0.1963	2603.65	510.967	52.0863
BH.5	210.425	0.1963	3030.11	594.66	60.6177
BH.6	193.846	0.1963	1705.84	334.771	34.1255
BH.7	207.874	0.1963	1746.14	342.68	34.9317
BH.8	196.396	0.1963	1885.4	370.01	37.7177
BH.9	204.048	0.1963	979.43	192.213	19.5936
BH.10	190.02	0.1963	1596.17	313.247	31.9314

3.2.2 Daya Dukung Kelompok Tiang

a. Pada Kelompok Tiang P-110

Parameter-parameter yang akan dipakai dalam perhitungan adalah:

$$d = 0.50 \text{ m}$$

$$n = 10 \text{ tiang}$$

$$m = 11 \text{ tiang}$$

$$s = 1.625 \text{ m}$$

Efisiensi Tiang berdasarkan Converse Labarre

$$Eg = 1 - 26.56 \frac{(10-1)11+(11-1)10}{90 \times 11 \times 10}$$

$$Eg = 0.466$$

Menghitung Daya Dukung Kelompok Tiang pada S1:

$$Qg = n \times Q_{ijin} \times Eg$$

$$Qg = 110 \times 384.97 \times 0.466$$

$$Qg = 19733.56$$

Tabel 5: Rekapitulasi daya dukung kelompok tiang, Metode Converse Labarre $Eg = 0.466$ dengan 110 tiang

No	Qg (ton)
Sondir	
S.1	19733.56
S.2	24623.76
S.3	14754.16
S.4	19733.56
S.5	9686.08
S.6	19733.56
S.7	24623.76

b. Pada Kelompok Tiang P-59

$$Eg = 1 - 26.56 \frac{(6-1)10+(10-1)6}{90 \times 10 \times 6}$$

$$Eg = 0.488$$

Tabel 6: Rekapitulasi daya dukung kelompok tiang, Metode Converse Labarre $Eg = 0.488$ dengan 59 tiang

No	Qg (ton)
Sondir	
S.1	11084.05
S.2	13830.81
S.3	8287.20
S.4	11084.05
S.5	5440.53
S.6	11084.05
S.7	13830.81

c. Pada Kelompok Tiang P-14

$$Eg = 1 - 26.56 \frac{(2-1)7+(7-1)2}{90 \times 7 \times 2}$$

$$Eg = 0.599$$

Tabel 7: Rekapitulasi daya dukung kelompok tiang, Metode Converse Labarre $E_g = 0.599$ dengan 14 tiang

No	Qg (ton)
Sondir	
S.1	3228.35
S.2	4028.38
S.3	2413.74
S.4	3228.35
S.5	1584.62
S.6	3228.35
S.7	4028.38

d. Pada Kelompok Tiang P-8

$$E_g = 1 - 26.56 \frac{(2-1)^4 + (4-1)^2}{90 \times 4 \times 2}$$

$$E_g = 0.631$$

Tabel 4.12 berikut menampilkan rekapitulasi hasil perhitungan Q group terhadap daya dukung pondasi, yang didasarkan pada efisiensi kelompok tiang.

Tabel 8: Rekapitulasi daya dukung kelompok tiang, Metode Converse Labarre $E_g = 0.631$ dengan 8 tiang

No	Qg (ton)
Sondir	
S.1	1943.32
S.2	2424.90
S.3	1452.96
S.4	1943.32
S.5	953.87
S.6	1943.32
S.7	2424.90

3.3 Pengecekan Beban Atas Terhadap Daya Dukung *Pile-Raft Foundation*

Tabel 9: Rekapitulasi Beban Aktual dan Kapasitas Izin *Pile-Raft Foundation*

Lokasi	Jumlah pancang	Total (pile)	Qall (ton)	Beban Aktual per Pancang (ton)	Total Beban per Titik (ton)	Kapasitas Izin <i>Pile-Raft</i> (ton)	Persentase Pembebanan	Status
P110	110	231	12521	54.20	5962.38	9686.08	38%	AMAN
P59	59				3198.00	5440.53	41%	AMAN
P14	14				758.85	1584.62	52%	AMAN
P14	14				758.85	1584.62	52%	AMAN
P14	14				758.85	1584.62	52%	AMAN
P8	8				433.63	953.87	55%	AMAN
P8	8				433.63	953.87	55%	AMAN

4. Kesimpulan

Kondisi geoteknik pada lokasi proyek menunjukkan variasi karakteristik tanah, di mana sebagian besar lapisan terdiri dari *silty clay* dan *clayey silt* dengan tingkat plastisitas tinggi serta indeks kompresibilitas yang signifikan. Lapisan tanah bagian atas secara umum memiliki daya dukung rendah, sehingga penggunaan pondasi dangkal dinilai kurang efektif.

Sistem pondasi *pile-raft* dipilih sebagai solusi teknis yang tepat, mengingat peran kombinatorik antara *raft* dan tiang pancang dalam mendistribusikan beban bangunan ke tanah. Sistem ini memberikan peningkatan kapasitas daya dukung sekaligus mengurangi risiko penurunan *diferensial*.

Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan metode *Aoki De Alencar* menunjukkan nilai kapasitas ultimit hingga ± 1441 ton, dengan daya dukung izin berkisar ± 480 ton, tergantung pada titik sondir.

Analisis efisiensi kelompok tiang dengan pendekatan *Converse-Labarre* menunjukkan bahwa jumlah dan konfigurasi tiang mempengaruhi efisiensi sistem. Pada kelompok terbesar (P110), efisiensi mencapai 46.6%, sedangkan kelompok terkecil (P8) mencapai 63.1%.

Evaluasi daya dukung total *pile-raft* menunjukkan bahwa seluruh titik lokasi (P110, P59, P14, P8) berada pada kondisi AMAN, dengan persentase pembebanan terhadap kapasitas izin berkisar antara 38% hingga 55%, menandakan bahwa sistem pondasi memiliki cadangan kekuatan yang mencukupi terhadap beban vertikal bangunan.

Distribusi beban yang merata pada sistem fondasi menunjukkan bahwa desain *pile-raft* pada proyek ini telah sesuai secara teknis dan layak untuk diimplementasikan pada kondisi tanah serupa di wilayah perkotaan.

5. Referensi

- American Concrete Institute. (2019). *ACI 318-19: Building code requirements for structural concrete*. Farmington Hills, MI: ACI.
- ASTM International. (2021). *ASTM D1143/D1143M - Standard test methods for deep foundations under static axial compressive load*. West Conshohocken, PA: ASTM.
- Badan Standardisasi. (2019). *SNI 2847:2019 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non - Gedung*. BSN.
- Bowles, J. E. (1993). *Analisis dan Desain Fondasi (V)*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Erlangga.
- Frank, R. , & Z. X. (1993). *Design of pile foundations*. CRC Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan perencanaan fondasi I & II*. UGM Press.
- Horvath, R. G. (2010). *Pile foundations in engineering practice*. Wiley.
- Hwang, S. K. , & T. C. Y. (2006). Interaction between piled raft and subsoil using three-dimensional numerical analysis. *Computers and Geotechnics*, 33(6-7), 340-350.
- Katzenbach, R. , A. U. , & M. C. (2000). Pile raft foundation projects in Germany. . *Design Applications of Raft Foundations*, 323-332.

- Kumar, M. , & S. S. (2023).). Performance evaluation of disconnected pile-raft foundation in soft clay. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 17(2), 102–115.
- Poulos, H. G. (2001). Piled raft foundations: Design and applications. *Géotechnique*, 51(2), 95–113.
- Poulos, H. G. , & D. E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. *Wiley*.
- Prakoso, W. A. , & H. G. D. (2020). Analisis daya dukung fondasi pile raft dengan pendekatan numerik. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 17(1), 23–32.
- Randolph, M. F. (2003). Science and empiricism in pile foundation design. *Geotechnique*, 53(10), 847–875.
- Rifanni, W. (2020). Analisis daya dukung dan penurunan fondasi tiang pada proyek pembangunan Rusun Pulo Gebang, Jakarta Timur. *Universitas Mercu Buana*.
- Trenggana, S. A. N. A. (2014). Analisa perhitungan pile-raft foundation pada proyek The 18 Office Park Jakarta. . . *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 584–591.
- Waliyudiin, A. K. (2023). *Analisis daya dukung raft foundation pada proyek gedung RSIA Sanglah*. Politeknik Negeri Jakarta.
- Yoon, J. H. , & L. J. H. (2025). Simple approach for predicting settlement of disconnected pile raft. *Soils and Foundations*, 65(1), 11–22.