

# ANALISIS PERBANDINGAN KONFIGURASI ANTARA FONDASI TIANG BOR DAN TIANG PANCANG TERHADAP DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN DI PROYEK PERLUASAN TERMINAL BANDARA DEPATI AMIR TAHAP I

JUNIARTI<sup>1</sup>, Yayuk APRIYANTI<sup>1\*</sup>, Endang Setyawati HISYAM<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung, Bangka, Indonesia

\*Email korespondensi: [yayukapriyanti26@gmail.com](mailto:yayukapriyanti26@gmail.com)

[diterima: 11 Mei 2026, disetujui: 23 Juni 2026]

## ABSTRACT

The limited availability of large-diameter driven piles in the field necessitates an investigation into alternative foundation systems that are more efficient in terms of pile quantity while still satisfying technical requirements. This study aims to compare the performance of nine alternative bored pile foundation configurations in terms of bearing capacity and settlement, and to identify the configuration whose results most closely approximate the existing conditions as a design reference. The alternatives examined include 6 bored piles with a diameter of 60 cm, 5 piles with a diameter of 70 cm, and 4 piles with a diameter of 80 cm, each with three layout configuration variations. The study utilized N-SPT data obtained from the project site as the primary calculation parameters. Bearing capacity analysis was conducted using the Reese & Wright (1977) and Skempton (1966) methods, accounting for the cohesive soil conditions at the study location, while settlement calculations employed the Vesic (1970) method for single piles and the Vesic (1977) method for pile groups. The results indicate that configuration V3-3, consisting of 4 bored piles with an 80 cm diameter, represents the most effective alternative. This configuration yields a bearing capacity of 796 tonnes based on the Reese & Wright (1977) method and tonnes based on the Skempton (1966) method, thereby satisfying the design load requirement of 643.27 tonnes. Furthermore, configuration V3-3 produces the smallest group settlement of 14 mm among all evaluated alternatives, making it the most optimal solution in terms of both bearing capacity and foundation settlement.

**Keywords:** Bearing capacity, Configuration bored pile foundation, configuration, driven pile foundation, settlement.

## INTISARI

Ketersediaan tiang pancang berdiameter besar yang terbatas di lapangan mendorong perlunya kajian terhadap alternatif fondasi yang lebih efisien dari segi jumlah tiang namun tetap memenuhi persyaratan teknis. Penelitian ini bertujuan membandingkan performa sembilan konfigurasi alternatif fondasi tiang bor terhadap daya dukung dan penurunan, serta memilih konfigurasi yang hasilnya paling mendekati kondisi eksisting sebagai acuan perencanaan. Alternatif yang diteliti meliputi tiang bor berdiameter 60 cm sebanyak 6 tiang, diameter 70 cm sebanyak 5 tiang, dan diameter 80 cm sebanyak 4 tiang, dengan masing-masing tiga variasi bentuk konfigurasi. Penelitian menggunakan data N-SPT dari lokasi proyek sebagai parameter perhitungan. Analisis daya dukung dilakukan menggunakan metode Reese & Wright (1977) dan Skempton (1966) dengan mempertimbangkan kondisi tanah kohesif di lokasi studi, sedangkan perhitungan penurunan menggunakan metode Vesic (1970) untuk tiang tunggal dan Vesic (1977) untuk kelompok tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi V3-3 dengan 4 tiang bor berdiameter 80 cm merupakan alternatif paling efektif. Konfigurasi ini menghasilkan daya dukung sebesar 796 ton berdasarkan metode Reese & Wright (1977) dan 686 ton berdasarkan metode Skempton (1966), sehingga mampu menahan beban rencana sebesar 643,27 ton. Di samping itu, konfigurasi V3-3 menghasilkan penurunan kelompok terkecil sebesar 14 mm di antara seluruh alternatif yang ditinjau, sehingga dinilai sebagai solusi paling optimal ditinjau dari aspek daya dukung maupun penurunan fondasi.

**Kata kunci:** Daya dukung, fondasi tiang bor, fondasi tiang pancang, konfigurasi, penurunan.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan pembangunan yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk mendorong pembangunan berbagai infrastruktur, seperti gedung, jalan, jembatan, terminal, dan fasilitas publik lainnya. Setiap struktur memerlukan fondasi yang mampu menopang beban secara aman dan stabil, karena fondasi merupakan elemen struktur bawah yang sangat menentukan kestabilan bangunan secara keseluruhan (Sitepu, 2019).

Perencanaan fondasi menjadi tahap penting dalam konstruksi karena keberhasilan struktur atas sangat bergantung pada kemampuan fondasi dalam menyalurkan beban ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung memadai (Hardiyatmo, 2020). Proses ini didasarkan pada analisis beban struktur dan data penyelidikan tanah untuk menentukan jenis, dimensi, dan kedalaman fondasi yang sesuai (Husnirizqi, 2022). Pada bangunan bertingkat dan berbeban besar, fondasi dalam umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan kapasitas daya dukung dan kontrol penurunan (Muthmainnah, 2021).

Salah satu penerapan fondasi dalam terdapat pada Proyek Perluasan Terminal Bandara Depati Amir Tahap I. Proyek ini menggunakan fondasi tiang pancang beton pracetak berdiameter 50 cm dengan kedalaman sekitar 15 m. Konfigurasi yang paling dominan adalah kelompok sembilan tiang, yang menunjukkan besarnya beban struktur terminal.

Meskipun telah memenuhi persyaratan desain, konfigurasi tersebut masih dapat ditinjau untuk memperoleh alternatif yang memberikan kinerja setara. Keterbatasan ukuran standar tiang pancang beton pracetak di pasaran, terutama untuk diameter di atas 60 cm, menjadi kendala dalam upaya mengurangi jumlah tiang. Oleh karena itu, fondasi tiang bor dipertimbangkan sebagai alternatif karena memungkinkan penggunaan diameter yang

lebih fleksibel, seperti 60 cm, 70 cm, dan 80 cm, sehingga jumlah tiang dalam satu kelompok berpotensi dikurangi.

Penelitian ini bertujuan membandingkan konfigurasi fondasi tiang bor dengan tiang pancang berdasarkan kapasitas daya dukung dan besarnya penurunan untuk menilai kelayakan tiang bor sebagai alternatif terhadap fondasi eksisting pada Proyek Perluasan Terminal Bandara Depati Amir Tahap I. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam ilmu geoteknik terkait optimasi konfigurasi fondasi dalam, serta memberikan rekomendasi teknis yang dapat menjadi acuan bagi Proyek Perluasan Terminal Bandara Depati Amir Tahap I maupun proyek infrastruktur sejenis.

## METODE

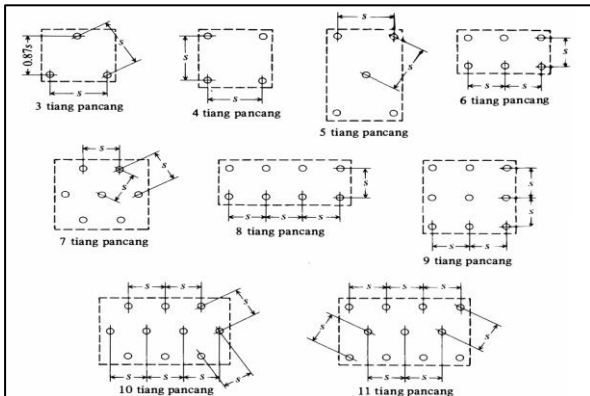
Penelitian ini dilaksanakan menggunakan data dari Proyek Perluasan Terminal Bandara Depati Amir Tahap I. Analisis dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengolahan data N-SPT untuk memperoleh parameter tanah, dilanjutkan dengan perhitungan daya dukung aksial tiang tunggal, perhitungan efisiensi kelompok tiang, hingga perhitungan penurunan fondasi. Hasil dari masing-masing konfigurasi kemudian dibandingkan untuk menentukan alternatif yang paling optimal.

### *Safety Factor Tiang Bor*

Tomlinson (1977) dalam Hardiyatmo (2020) menyatakan bahwa penentuan kapasitas izin tiang bor dengan diameter kurang dari 2 meter dilakukan dengan membagi kapasitas ultima tiang terhadap faktor keamanan sebesar 2, apabila ujung tiang tidak mengalami pembesaran. Apabila pada dasar tiang dilakukan pembesaran, maka faktor keamanan yang digunakan meningkat menjadi 2,5. Sehingga, pada kondisi tiang bor tanpa pembesaran ujung, faktor keamanan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 2.

## Susunan Konfigurasi Tiang

Dalam perencanaan susunan konfigurasi tiang, pengelompokan beberapa tiang dalam satu *pile cap* perlu mempertimbangkan interaksi tegangan yang terjadi di dalam tanah. Bowles (1988) menjelaskan bahwa pada kelompok tiang akan terjadi tumpang tindih distribusi tegangan tanah, baik yang berasal dari tahanan selimut maupun tahanan ujung tiang. Besarnya intensitas tegangan yang saling bertumpuk tersebut dipengaruhi oleh beban yang bekerja serta jarak antartiang dalam kelompok.



Gambar 1. Bentuk Susunan Konfigurasi (Bowles, 1988)

## Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor

Menurut metode Reese & Wright (1977), tahanan ujung fondasi tiang ( $Q_p$ , kN) dapat ditentukan melalui Persamaan (1).

$$Q_p = q_p A_p \quad (1)$$

di mana  $q_p$  dan  $A_p$  secara berurutan adalah tahanan ujung per satuan luas (kN) dan luas penampang fondasi tiang ( $m^2$ ).

Untuk tanah kohesif,  $q_p$  pada Persamaan 1 dapat ditentukan sebesar 9 kali kuat geser tanah ( $C_u$ , kN/ $m^2$ ) pada Persamaan 2.

$$C_u = \frac{20N_{SPT}}{3} \quad (2)$$

di mana  $N_{SPT}$  adalah jumlah pukulan empiris pada SPT (*Standard Penetration Test*).

Sementara itu, tahanan gesek ultima ( $Q_s$ , kN) menurut metode Reese & Wright (1977)

pada fondasi tiang dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3).

$$Q_s = \alpha C_u L_i P_p \quad (3)$$

di mana  $\alpha$ ,  $L_i$ , dan  $P_p$  secara berurutan adalah faktor adhesi gesek (0,55), tebal lapisan tanah ke- $i$ , dan keliling penampang fondasi tiang.

Adapun menurut metode Skempton (1977),  $Q_p$  dapat ditentukan menggunakan Persamaan (4).

$$Q_p = \mu A_p C_b N_c \quad (4)$$

di mana  $\mu$ ,  $C_b$ , dan  $N_c$  secara berurutan adalah faktor koreksi, kohesi tanah rerata kedalaman 5 kali diameter fondasi tiang di bawah ujung tiang, dan faktor kapasitas dukung.

Untuk diameter fondasi ( $d$ )  $\leq 1$  m,  $\mu$  pada Persamaan 3 adalah 0,8, sedangkan untuk  $d > 1$  m,  $\mu = 0,75$ . Nilai  $N_c$  sendiri dapat ditentukan sebesar 9.

Nilai  $Q_s$  menurut metode Skempton (1977) sendiri dapat ditentukan menggunakan Persamaan (3), namun dengan  $\alpha = 0,45$ .

Kapasitas dukung ultima fondasi tiang ( $Q_u$ ) dipengaruhi oleh elevasi muka air tanah, yakni seperti pada Persamaan (5).

$$Q_u = Q_p + Q_s - (W_p - U) \quad (5)$$

$$U = A_p \gamma_w (D_p - D_w) \quad (6)$$

di mana  $W_p$ ,  $U$ ,  $D_p$ , dan  $D_w$  secara berurutan adalah berat fondasi tiang, gaya *uplift*, kedalaman fondasi tiang, dan kedalaman muka air tanah.

Kapasitas dukung izin fondasi tiang tunggal ( $Q_a$ ) kemudian dapat ditentukan sebesar  $Q_u/SF$ , di mana SF adalah *safety factor*. Untuk kelompok fondasi tiang, kapasitas dukung izin ( $Q_g$ ) dapat ditentukan menggunakan Persamaan (7).

$$Q_g = n Q_a e_g \quad (7)$$

di mana  $n$  adalah jumlah tiang dalam kelompok fondasi, sedangkan  $E_g$  adalah efisiensi kelompok tiang.

Menurut Loehr dkk. (2011) dalam Hardiyatmo (2020), nilai  $e_g$  pada Persamaan (7) dapat ditentukan dengan mengacu kepada Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi tiang bor

Tiang Bor Pada	Jarak Tiang	Efisiensi Tiang Bor
Pasir	2,5d	0,65
	4d	1
	2,5d s.d. 4d	Interpolasi linier antara 0,65–1
Lempung	2,5d	0,65
	6d	1
	2,5d s.d. 6d	Interpolasi linier antara 0,65–1

### Penurunan Tiang Bor

Besarnya penurunan yang terjadi pada fondasi tiang tunggal ( $S$ , m) akibat beban yang bekerja dapat dihitung menggunakan metode empiris yang dikembangkan oleh Vesic (1970), sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (8).

$$S = \frac{d}{100} + \frac{QL}{A_p E_p} \quad (8)$$

di mana  $Q$  dan  $E_p$  secara berurutan adalah beban yang bekerja dan modulus elastisitas fondasi tiang.

Sementara itu, penurunan kelompok tiang ( $S_g$ , m) menurut metode Vesic (1977) dapat ditentukan menggunakan Persamaan (9).

$$S_g = S \sqrt{B_g/d} \quad (9)$$

di mana  $B_g$  adalah lebar kelompok tiang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Tanah

Data tanah merupakan salah satu parameter utama yang digunakan dalam analisis perencanaan fondasi. Pada penelitian ini, data tanah diperoleh dari hasil penyelidikan tanah pada proyek menggunakan uji SPT. Kondisi tanah di lokasi penelitian didominasi oleh pasir kasar campur lempung merah kekuningan pada kedalaman dangkal hingga sekitar 3 m. Pada kedalaman berikutnya hingga sekitar 11 m, lapisan tanah berupa lempung merah campur sedikit pasir kasar. Selanjutnya, pada kedalaman menengah hingga sekitar 15 m, lapisan tanah berkembang menjadi pasir kasar campur sedikit lempung. Pada kedalaman lebih dari 15 m dijumpai lapisan pasir kasar campur sedikit lempung bercampur batu gunung bongkahan.

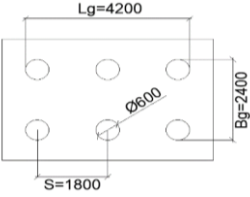
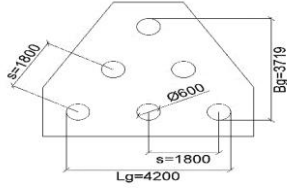
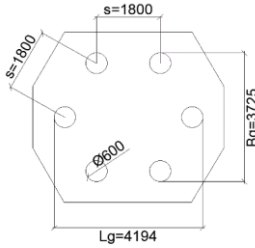
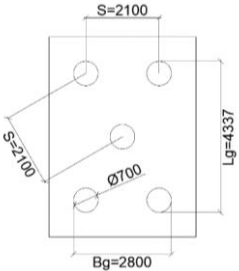
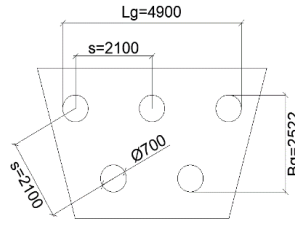
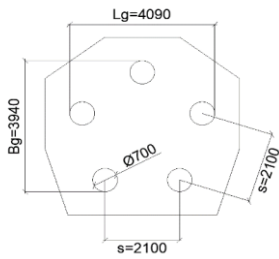
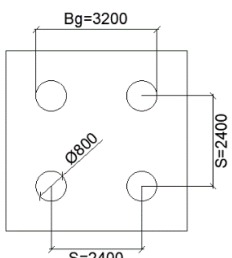
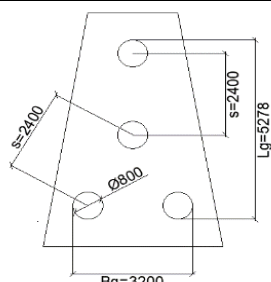
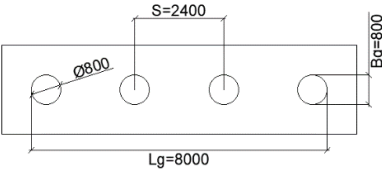
### Daya Dukung Izin Tiang Bor Tunggal

Dalam penelitian ini, perhitungan kapasitas daya dukung izin menggunakan SF sebesar 2 sesuai dengan standar untuk metode perhitungan statis dengan data tanah yang memadai. Namun, untuk memberikan perspektif yang lebih komprehensif dan mempertimbangkan tingkat konservatisme yang berbeda dalam desain fondasi, dilakukan juga perhitungan dengan variasi SF sebesar 3 dan 4. Penambahan variasi SF ini bertujuan untuk menunjukkan sensitivitas kapasitas daya dukung terhadap pemilihan faktor keamanan yang berbeda, yang dapat menjadi pertimbangan

Tabel 2. Perbandingan kapasitas daya dukung izin tiang tunggal

Jenis Tiang	Diameter (cm)	Metode						Eksisting (ton)
		Reese & Wright (1977) (ton)			Skempton (1966) (ton)			
		SF = 2	SF = 3	SF = 4	SF = 2	SF = 3	SF = 4	
Tiang bor	50	162	109	81	137	92	69	-
Tiang bor	60	201	134	100	171	114	86	-
Tiang bor	70	242	161	121	207	138	103	-
Tiang bor	80	284	190	142	245	163	122	-
Tiang pancang	50	-	-	-	-	-	-	107

Tabel 3. Bentuk konfigurasi masing-masing variasi

Variasi	Bentuk Konfigurasi*
V1	 <p>(V1-1)</p>
	 <p>(V1-2)</p>
	 <p>(V1-3)</p>
V2	 <p>(V2-1)</p>
	 <p>(V2-2)</p>
	 <p>(V2-3)</p>
V3	 <p>(V3-1)</p>
	 <p>(V3-2)</p>
	 <p>(V3-3)</p>

Catatan: (\*) Dimensi konfigurasi dalam mm

dalam tahap desain detail di lapangan. Selain itu, untuk melengkapi analisis perbandingan, ditambahkan juga perhitungan tiang bor diameter 50 cm (sama dengan diameter tiang pancang eksisting) guna melihat perbedaan kapasitas antara kedua jenis fondasi dengan diameter yang identik. Perbandingan kapasitas daya dukung izin tiang bor tunggal terhadap tiang pancang eksisting dapat dilihat pada Tabel 2.

### Bentuk-bentuk Konfigurasi Tiang

Dalam penelitian ini, terdapat tiga variasi konfigurasi kelompok tiang, yaitu variasi V1 untuk tiang bor berdiameter 60 cm dengan jumlah 6 tiang, variasi V2 untuk tiang bor berdiameter 70 cm dengan jumlah 5 tiang, dan variasi V3 untuk tiang bor berdiameter 80 cm dengan jumlah 4 tiang, di mana jarak antar tiang sebesar 3 kali diameter tiang. Tata letak dan jarak antar tiang pada masing-masing variasi konfigurasi ditunjukkan pada Tabel 3.

### Daya Dukung Kelompok Tiang Bor

Kapasitas daya dukung kelompok tiang bor dihitung dengan mengalikan efisiensi kelompok tiang yang setelah dilakukan inter-

Variasi ini ditambahkan untuk membandingkan kapasitas fondasi tiang bor dan tiang pancang pada diameter dan jumlah tiang yang sama. Rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung kelompok fondasi tiang bor disajikan pada Tabel 4. Analisis lanjutan berupa perhitungan penurunan fondasi hanya dilakukan pada konfigurasi dengan SF = 2, karena hanya variasi tersebut yang memenuhi persyaratan kapasitas daya dukung kelompok terhadap beban rencana dalam penelitian ini.

### Penurunan Tiang Bor

Rekapitulasi hasil penurunan tiang tunggal masing-masing diameter disajikan pada Tabel 5. Analisis penurunan kelompok tiang didasarkan pada nilai penurunan tiang tunggal tersebut. Untuk variasi diameter 50 cm dengan jumlah 9 tiang (V), perhitungan dilakukan dengan prosedur yang sama seperti pada variasi diameter 60, 70, dan 80 cm. Variasi ini ditambahkan untuk membandingkan respon penurunan antara fondasi tiang bor dan fondasi tiang pancang eksisting pada diameter dan jumlah tiang yang sama. Rekapitulasi hasil penurunan kelompok tiang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4. Rekapitulasi kapasitas daya dukung kelompok tiang bor

Variasi	Diameter (cm)	Jumlah Tiang	Metode					
			Reese & Wright (1977) (ton)			Skempton (1966) (ton)		
			SF = 2	SF = 3	SF = 4	SF = 2	SF = 3	SF = 4
V	50	9	1.022	681	511	866	577	433
V1	60	6	807	562	422	683	479	360
V2	70	5	811	564	423	690	483	362
V3	80	4	766	531	398	654	457	343

Catatan: ( ) = memenuhi syarat ( $Q_g \geq 643,27$  ton)

( ) = tidak memenuhi syarat ( $Q_g < 643,27$  ton)

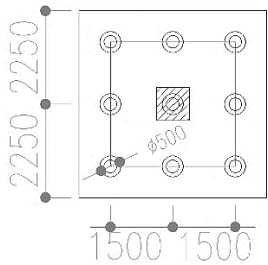
polasi sebesar 0,7, jumlah tiang, dan kapasitas daya dukung izin tiang tunggal pada masing-masing variasi konfigurasi. Untuk variasi diameter 50 cm, perhitungan dilakukan dengan cara yang sama menggunakan dukung izin fondasi tiang tunggal pada Tabel 3.3, efisiensi kelompok tiang, dan jumlah 9 tiang mengikuti konfigurasi fondasi tiang pancang eksisting.

Tabel 5. Rekapitulasi penurunan tiang tunggal

Diameter (cm)	Penurunan Tiang Tunggal (mm)
50	21
60	17
70	15
80	14

Tabel 6. Perbandingan penurunan kelompok tiang

Variasi	Bentuk Konfigurasi	Penurunan Kelompok (mm)
V	Sama dengan tiang pancang eksisting	55
V1	V1-1	34
	V1-2	42,32
	V1-3	42,36
V2	V2-1	30
	V2-2	28,47
	V2-3	35,59
V3	V3-1	28
	V3-2	28
	V3-3	14
Tiang Pancang Eksisting		19,95

### Perbandingan antara Tiang Bor dan Tiang Pancang

Perbandingan ini difokuskan pada dua parameter utama, yaitu kapasitas daya dukung kelompok tiang dan penurunan kelompok tiang. Rekapitulasi hasil perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 7 sebagai dasar dalam penentuan konfigurasi fondasi tiang bor yang memiliki kinerja paling mendekati fondasi tiang pancang eksisting.

### KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi alternatif konfigurasi fondasi tiang bor sebagai pengganti fondasi tiang pancang eksisting pada Proyek Perluasan Terminal Bandara Depati Amir Tahap I berdasarkan kapasitas daya dukung dan penurunan. Sebanyak sembilan konfigurasi tiang bor berdiameter 60 cm, 70 cm, dan 80 cm dianalisis menggunakan metode Reese & Wright (1977) dan Skempton

Tabel 7. Perbandingan kinerja kelompok tiang antara fondasi tiang bor dengan tiang pancang eksisting

Variasi	Bentuk Konfigurasi	Daya Dukung Kelompok Tiang (ton)		Penurunan Kelompok (mm)
		Reese & Wright (1977)	Skempton (1966)	
V	Sama dengan eksisting	1022	866	55
V1	V1-1	843	719	34
	V1-2			42,32
	V1-3			42,36
V2	V2-1	846	724	30
	V2-2			28,47
	V2-3			35,59
V3	V3-1	796	686	28
	V3-2			28
	V3-3			14
Tiang Pancang Eksisting		703	19,95	

(1966) untuk daya dukung, serta Vesic (1970) dan Vesic (1977) untuk penurunan. Hasil menunjukkan bahwa variasi V1 menghasilkan daya dukung 719–843 ton dengan penurunan 34–42,36 mm, V2 sebesar 724–846 ton dengan penurunan 28,47–35,59 mm, dan V3 sebesar 686–796 ton dengan penurunan 14–28 mm. Fondasi tiang pancang eksisting memiliki daya dukung 703 ton dengan penurunan 19,95 mm. Seluruh variasi tiang bor memberikan kapasitas daya dukung yang sebanding dengan kondisi eksisting, meskipun penurunannya umumnya lebih besar. Berdasarkan kapasitas daya dukung dan penurunan, konfigurasi V3-3 merupakan alternatif terbaik karena menghasilkan penurunan terkecil (14 mm) dan mampu menahan beban rencana sebesar 643,27 ton.

Sitepu, O. K. B. (2019). *Analisis daya dukung dan penurunan kelompok tiang berdasarkan data sondir dan data uji beban pada proyek pembangunan Gedung Kargo Depati Amir Pangkalpinang* [Skripsi]. Universitas Bangka Belitung.

## REFERENSI

- Bowles, J. E. (1988). *Analisis dan desain pondasi jilid 2* (Edisi keempat). Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. (2020). *Analisis dan perancangan fondasi II* (Edisi kelima). Gadjah Mada University Press.
- Husnirizqi, F. U. (2021). *Perbandingan daya dukung tiang bor berdasarkan data lapangan dan laboratorium terhadap variasi dimensi* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Muthmainnah, M. (2021). *Analisis kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dengan variasi dimensi* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Prakash, S. & Sharma, H. D. (1991). *Pile foundations in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- Reese, L. C. & Wright, S. J. (1977). *Drilled shaft manual: Construction procedures and design for axial loading* (Vol. 1). US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division.