ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Analisis Daya Dukung Tiang Berdasarkan Hasil Pengujian Pembebanan Statik Dan Dinamik Pada Konstruksi Gedung

Hariman Al Faritzie [1)], Bazar Asmawi [2)], Selvia Aprilyanti [3)], Untung Nopansyah. S [4)]

[1,2)] Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti
[3)] Dosen Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti
[4)] Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti
Jl. Kapten Marzuki No.2446 Kamboja Palembang
Email : untungnopansyah99@gmail.com

ABSTRACT

Vertical development in urban areas drives the need for reliable and efficient geotechnical engineering, especially bored pile foundations that are able to withstand building loads in soil conditions that are predominantly clay and sandy. This study aims to analyze the bearing capacity of bored pile foundations using the static loading method (SLT) interpreted by the Davisson, Mazurkiewicz, and Chin approaches, as well as the dynamic loading method (PDA) analyzed by Capwap software. Tests were conducted at two SLT points and two PDA points. The results of static testing on the BP 65 pile showed an ultimate bearing capacity of 306.4 tons (Davisson), 284.12 tons (Mazurkiewicz), and 260.42 tons (Chin). While on BP 120, the ultimate bearing capacity was obtained at 384.39 tons, 391.57 tons and 378.79 tons, respectively. The results of the PDA test analyzed through Capwap showed the ultimate bearing capacity values of 413.8 tons (BP 59) and 419.5 tons (BP 113). The results of the study indicate that the bearing capacity of the bored pile foundation has generally met the safe limit. Recommendations based on actual conditions and calculations with soil data and the results of foundation loading tests using a pile diameter of 60 cm with a depth of 18 meters are considered effective and in accordance with the design load. The results of static and dynamic method tests are able to produce an accurate evaluation of the bearing capacity of the foundation and reflect the realistic characteristics of the soil at the test location.

Keywords : *Bearing Capacity, Bored Pile, CAPWAP, PDA Test.*

ABSTRAK

Pembangunan secara vertikal di kawasan perkotaan mendorong kebutuhan akan rekayasa geoteknik yang andal dan efisien, khususnya pondasi tiang bor yang mampu menahan beban bangunan pada kondisi tanah yang dominan berupa lempung dan berpasir. Penelitian ini bertujuan menganalisis kapasitas daya dukung pondasi tiang bor menggunakan metode pembebanan statik (SLT) yang diinterpretasikan dengan pendekatan Davisson, Mazurkiewicz, dan Chin, serta metode pembebanan dinamik (PDA) yang dianalisis dengan perangkat lunak Capwap. Pengujian dilakukan pada dua titik SLT dan dua titik PDA. Hasil pengujian statik pada tiang BP 65 menunjukkan daya dukung ultimit sebesar 306,4 ton (Davisson), 284,12 ton (Mazurkiewicz), dan 260,42 ton (Chin), Sedangkan pada BP 120, diperoleh daya dukung ultimit masing-masing sebesar 384,39 ton, 391,57 ton dan 378,79 ton. Hasil pengujian PDA dianalisis melalui Capwap menunjukkan nilai daya dukung ultimit sebesar 413,8 ton (BP 59) dan 419,5 ton (BP 113). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung pondasi tiang bor secara umum telah memenuhi batas aman. Rekomendasi berdasarkan kondisi aktual dan perhitungan dengan data tanah dan hasil pengujian pembebanan pondasi penggunaan diameter tiang 60 cm dengan kedalaman 18 meter dinilai efektif dan sesuai dengan beban rencana. Hasil pengujian metode statik dan dinamik mampu menghasilkan evaluasi kapasitas daya dukung pondasi yang akurat serta mencerminkan karakteristik tanah secara realistik di lokasi pengujian.

Kata Kunci : *CAPWAP, Daya Dukung, PDA Test, Tiang Bor.*

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan aktivitas ekonomi di wilayah perkotaan mendorong kebutuhan infrastruktur yang semakin tinggi. Keterbatasan lahan serta tingginya harga tanah di kota besar menyebabkan pembangunan gedung bertingkat menjadi solusi utama untuk memenuhi kebutuhan hunian dan ruang usaha. Kecamatan Kebon Jeruk, Jakarta Barat, merupakan salah satu kawasan yang mengalami perkembangan pesat, ditandai dengan munculnya permukiman padat, bangunan komersial, serta perkantoran modern. Perkembangan tersebut didukung oleh ketersediaan infrastruktur transportasi yang memadai, seperti jalan tol, jalur TransJakarta, dan jaringan KRL, yang semakin meningkatkan daya tarik kawasan ini sebagai pusat pertumbuhan baru.

Namun, pesatnya pembangunan harus diimbangi dengan perencanaan struktur bawah yang tepat, mengingat kondisi tanah setempat memiliki karakteristik geoteknik yang kompleks. Data geoteknik menunjukkan bahwa wilayah Kebon Jeruk didominasi oleh lapisan tanah lempung dan pasir dengan daya dukung relatif rendah serta potensi penurunan tanah yang cukup besar. Kondisi ini berpotensi menimbulkan permasalahan kestabilan struktur apabila tidak dilakukan perencanaan pondasi yang sesuai. Oleh karena itu, kajian geoteknik menjadi aspek krusial dalam menjamin keamanan, kenyamanan, dan keberlanjutan bangunan.

Penyelidikan tanah dilakukan untuk memperoleh parameter fisik dan mekanik tanah melalui pengujian lapangan seperti *Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT)*, serta pengeboran tanah. Data hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan jenis pondasi dan dimensi yang sesuai dengan kondisi lapangan (Umari et al., 2019). Salah satu jenis pondasi yang umum digunakan pada wilayah dengan keterbatasan ruang dan lapisan tanah keras pada kedalaman tertentu adalah pondasi tiang bor. Pondasi ini bekerja dengan menyalurkan beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih stabil melalui mekanisme daya dukung ujung (*end bearing*) dan gesekan selimut *(skin friction*) (Hardiyatmo, 2011; Mulyono & Agustina, 2022).

Evaluasi kapasitas daya dukung tiang bor sangat penting untuk memastikan kesesuaian antara perencanaan dan kondisi aktual di lapangan. Metode pengujian lapangan yang umum digunakan adalah *Static Loading Test (SLT)* dan *Pile Driving Analyzer (PDA*). SLT memberikan gambaran respons deformasi tiang terhadap beban statik, sedangkan PDA memungkinkan evaluasi kapasitas tiang secara cepat melalui analisis gelombang dinamik (Jaya et al., 2023).

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan gedung tiga lantai dengan satu basement di Kecamatan Kebon Jeruk, Jakarta Barat, yang menggunakan pondasi tiang bor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kapasitas daya dukung tiang berdasarkan hasil pengujian SLT dan PDA sebagai dasar evaluasi keandalan desain pondasi terhadap kondisi tanah setempat.

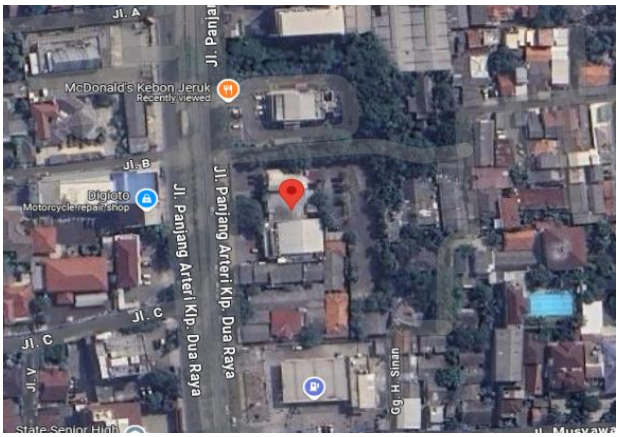
2. Metodologi

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan menganalisis dan mengevaluasi kapasitas daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan data pengujian lapangan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian berfokus pada pengolahan dan interpretasi data numerik hasil pengujian tanah dan pembebanan tiang guna memperoleh kesimpulan objektif terkait kinerja pondasi.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada elemen struktur bawah (*substructure*) Proyek Pembangunan Gedung tiga lantai dengan satu basement yang berlokasi di Kecamatan Kebon Jeruk, Jakarta Barat. Secara geografis, lokasi penelitian berada pada koordinat 6°11'57,9" Lintang Selatan dan 106°46'09,1" Bujur Timur, dengan luas area konstruksi sebesar ±7.820 m². Penelitian ini dilaksanakan pada tahun pelaksanaan konstruksi gedung, dengan pengambilan dan pengolahan data dilakukan setelah seluruh pengujian lapangan selesai dilakukan oleh pihak kontraktor dan konsultan pengawas.



Gambar 1. *Lokasi Penelitian*

Teknik dan Sumber Pengumpulan Data

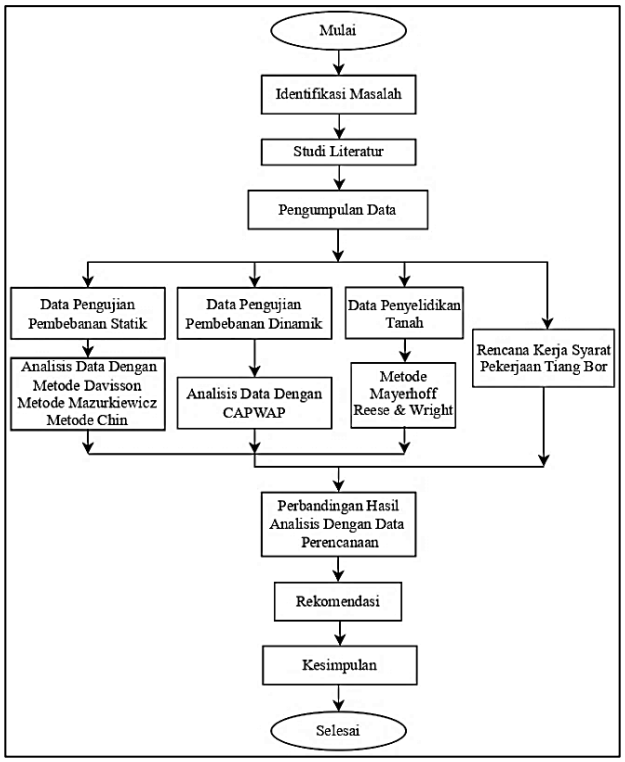
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen teknis proyek yang disediakan oleh pihak kontraktor. Data meliputi hasil pengujian *Standard Penetration Test (SPT*), data pengeboran tanah (*bore log*), serta hasil pengujian pembebanan tiang bor berupa *Static Loading Test (SLT*) dan *Pile Driving Analyzer (PDA*). Data teknis tersebut digunakan sebagai dasar analisis kapasitas daya dukung aktual pondasi.

Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang bor berdasarkan parameter tanah hasil uji SPT menggunakan metode empiris yang relevan. Selanjutnya, nilai kapasitas teoritis tersebut dibandingkan dengan kapasitas aktual hasil SLT dan PDA dalam bentuk persentase selisih untuk mengevaluasi tingkat keamanan dan performa pondasi terhadap beban

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

rencana. Hasil perbandingan digunakan untuk menyusun rekomendasi terkait efektivitas dan efisiensi kinerja pondasi tiang bor terhadap kondisi tanah setempat. Alur analisis disajikan secara sistematis dalam diagram alir penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Diagram Alir Penelitian*

Data Teknis

Data ini diperoleh dari pihak kontraktor dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. *Data Teknis Pondasi*

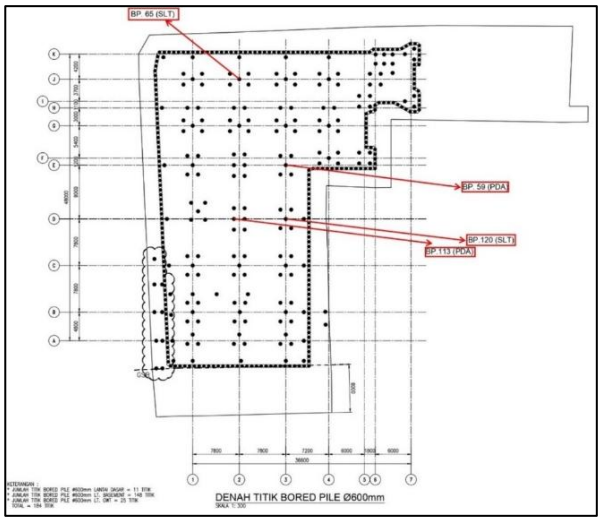
No	Jenis Data	Keterangan
1	Diameter Pondasi Bor	Ø 600 mm
2	Panjang Pondasi Bor	18,00 – 22,00 m
3	Mutu Beton (f'c)	40 Mpa
4	Beban Aksial Ijin	120 ton
5	Beban Aksial Ultimit	240 ton

Sumber : Data teknis kontraktor proyek, 2025.

Berdasarkan Tabel 1, pondasi yang digunakan merupakan pondasi bor dengan diameter 600 mm dan panjang berkisar antara 18,00–22,00 m. Mutu beton yang digunakan adalah fc' 40 MPa, yang menunjukkan bahwa pondasi dirancang untuk menahan beban struktural yang cukup besar. Beban aksial izin sebesar 120 ton merupakan beban kerja (allowable load) yang diperhitungkan dengan mempertimbangkan faktor keamanan, sedangkan beban aksial ultimit sebesar 240 ton menunjukkan kapasitas maksimum teoritis sebelum terjadi kondisi keruntuhan. Data teknis ini menjadi dasar dalam analisis kapasitas daya dukung tiang menggunakan metode interpretasi pembebanan statik.

3. Hasil dan Pembahasan

a. Pengujian Pembebanan Statik



Gambar 3. *Titik Pengujian Tiang Bor*

Pengujian pembebanan statik (SLT) dilaksanakan dengan injeksi kapasitas 200% sebesar 240 ton. Prosedur beban statik ini sesuai dengan ASTM D1143-07. Pengujian dilakukan pada 2 (dua) titik tiang bor berdiamater 60cm dengan panjang tiang yang berbeda yaitu BP.65 (18 m) dan BP.120 (22 m) . Besar pembebanan dan penurunan hasil pengujian pembebanan statik diperlihatkan dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2. *Rekapitulasi Hasil Pengujian Statik*

Siklus	Beban		Penurunan (Mm)	
	%	TON	BP.65	BP.120
I	0	0	0	0
	25	30	0.27	0.2
	50	60	0.48	0.73
II	75	90	0.86	1.18
	100	120	1.05	1.65
III	125	150	2.6	2.36
	150	180	3.41	2.79
IV	175	210	4.36	3.47
	200	240	6.62	4.28

(Sumber: PT.PIK)

Hasil analisis dan interpretasi data uji beban statik dilakukan dengan 3 metode, diuraikan dibawah ini.

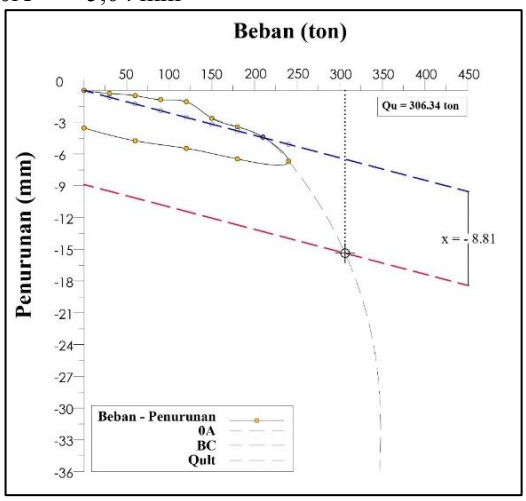
1) Metode Davisson

Interpretasi Davisson diperlihatkan dibawah ini:

No titik : BP 65
Diameter (D) : 60 cm
Panjang Tiang : 18 m
Luas Penampang Tiang : 2826 cm^2
Beban Ultimit (200%) : 240 ton
Mutu Beton : 40 Mpa
Modulus Elastisitas = $4700\sqrt{Fc'}$
= $4700\sqrt{40}$ Mpa
= 29725,4 Mpa
= 303,12 ton/cm2

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

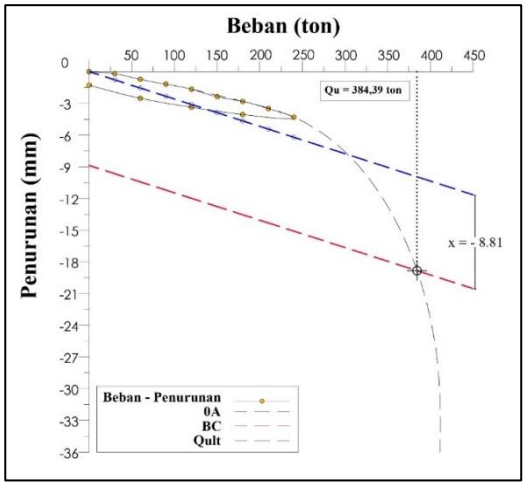
0A = PL/EA (Garis Biru)
0A = (240 x 1800) / (303,12 x 2826)
0A = 5,04 mm



Gambar 4. *Kurva Interpretasi Davisson BP 65*

No titik : BP 120
Diameter (D) : 60 cm
Panjang Tiang : 18 m
Luas Penampang Tiang : 2826 cm2
Beban Ultimit (200%) : 240 ton
Mutu Beton : 40 Mpa
Modulus Elastisitas = 4700√Fc' ... (1)
= 4700√40 Mpa
= 29725,4 Mpa
= 303,12 ton/cm2

0A = PL/EA (Garis Biru) ... (2)
0A = (240 x 2200)/(303,12 x 2826)
0A = 6,41 mm



Gambar 5. *Kurva Interpretasi Davisson BP 120*

X = (0.15inch x D/120) ... (3)
= (0.15inch x ((60*2,54) /120))
= 0,347 inch
= 8,81 mm

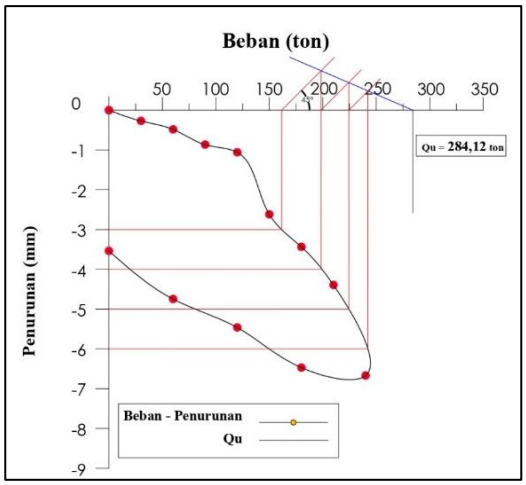
Nilai x adalah jarak garis 0A (biru) dan garis BC (merah). Perpotongan kurva interpretasi merupakan nilai daya dukung ultimit.

Berdasarkan kurva yang dihasilkan dari interpretasi davisson dihasilkan nilai daya dukung ultimit yang diperoleh melalui metode Davisson menunjukkan kapasitas sebesar 306,34 ton pada BP 65 dan 384,39 ton pada BP 65, sedangkan metode Mazurkiewicz menghasilkan nilai sebesar 284,12 ton pada BP 65 dan 391,57 ton pada BP 120. Perbedaan nilai ini menunjukkan adanya variasi pendekatan interpretasi terhadap kurva beban–penurunan.

Perbedaan hasil antar metode ini sejalan dengan temuan penelitian terbaru yang menyatakan bahwa interpretasi daya dukung tiang sangat dipengaruhi oleh metode evaluasi kurva beban–penurunan serta karakteristik tanah setempat. Studi oleh Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa metode Davisson umumnya menghasilkan nilai yang lebih konservatif dibanding metode interpretasi grafis lainnya pada tanah lempung lunak. Selain itu, penelitian Kim dan Lee (2023) menegaskan bahwa metode Mazurkiewicz sensitif terhadap perubahan gradien kurva pada fase plastis, sehingga dapat mencerminkan kondisi mobilisasi kapasitas ultimit secara lebih progresif.

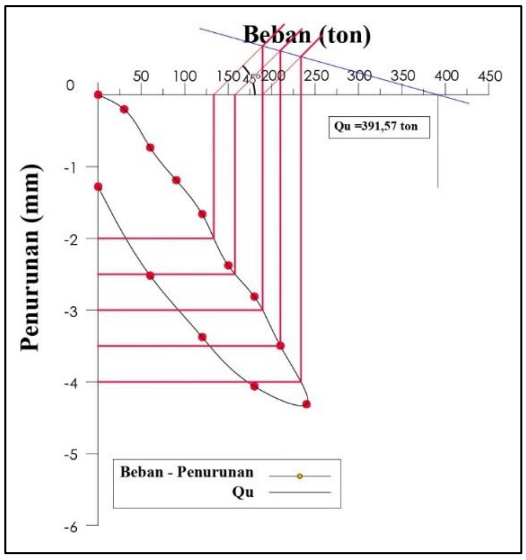
Dengan demikian, variasi nilai yang diperoleh pada penelitian ini masih berada dalam rentang wajar dan mencerminkan karakteristik respons tanah terhadap pembebanan aksial. Untuk tujuan desain konservatif, metode Davisson sering direkomendasikan, sedangkan metode Mazurkiewicz dapat digunakan sebagai pembanding untuk evaluasi kapasitas maksimum yang termobilisasi.

2) Metode Mazurkiewicz



Gambar 6. *Kurva Interpretasi Mazurkiewicz BP.65*

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955



Gambar 7. *Kurva Interpretasi Mazurkiewicz BP.120*

Berdasarkan kurva interpretasi metode Mazurkiewicz pada Gambar 7, terlihat bahwa hubungan antara beban (Q) dan penurunan (S) menunjukkan pola nonlinier yang semakin curam seiring bertambahnya beban. Pada tahap awal pembebanan, kurva menunjukkan kenaikan penurunan yang relatif kecil terhadap peningkatan beban, yang mengindikasikan bahwa tanah masih berada dalam kondisi elastis atau semi-elastis. Namun, setelah melewati beban tertentu, terjadi perubahan gradien kurva yang signifikan, yang menunjukkan mulai terjadinya deformasi plastis dan penurunan kapasitas dukung tanah.

Melalui konstruksi garis-garis bantu vertikal dan horizontal sesuai prosedur metode Mazurkiewicz, diperoleh nilai beban ultimit (Qu) sebesar 284,12 ton pada BP 65 dan 391,57 ton pada BP 120. Nilai ini ditentukan dari titik perpotongan hasil ekstrapolasi linier bagian kurva yang mengalami peningkatan penurunan secara progresif. Perubahan kemiringan kurva pada beban mendekati Qu menunjukkan bahwa sistem tanah–tiang telah mendekati kondisi keruntuhan.

Perbedaan nilai kapasitas ultimit antara BP 65 dan BP 120 mengindikasikan adanya pengaruh signifikan dari dimensi atau konfigurasi tiang terhadap daya dukung. BP 120 menunjukkan kapasitas ultimit yang lebih besar, yang dapat disebabkan oleh peningkatan luas penampang, peningkatan tahanan ujung (end bearing), maupun kontribusi gesekan selimut (skin friction) yang lebih besar. Secara kuantitatif, kapasitas BP 120 meningkat sekitar 37,8% dibandingkan BP 65, yang menunjukkan efisiensi struktural yang lebih tinggi.

Selain itu, pola kurva yang semakin melengkung tajam pada beban tinggi menandakan bahwa deformasi yang terjadi bukan lagi dominan elastis, melainkan telah memasuki fase plastis yang progresif. Hal ini penting dalam evaluasi desain, karena kapasitas ultimit tidak hanya ditentukan oleh nilai maksimum beban, tetapi juga oleh karakteristik deformasi yang terjadi sebelum keruntuhan.

Dengan demikian, interpretasi kurva Mazurkiewicz tidak hanya memberikan nilai kapasitas ultimit, tetapi juga menggambarkan perilaku deformasi sistem fondasi terhadap pembebanan bertahap, sehingga dapat menjadi dasar evaluasi keamanan dan faktor keselamatan dalam perencanaan fondasi tiang.

3) Metode Chin

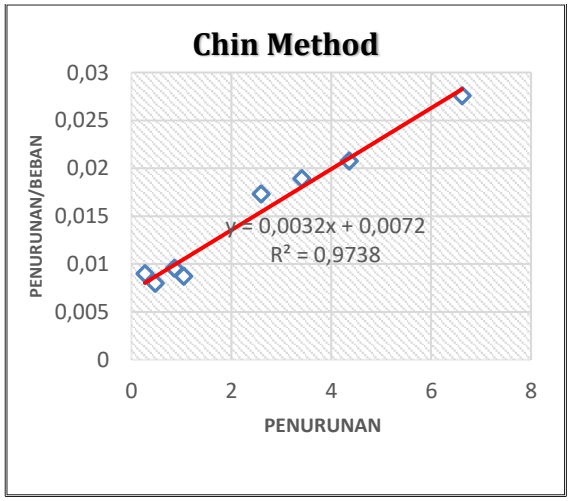
BP.65

Berdasarkan hasil pengujian beban statik pada BP 65, data hubungan antara beban dan penurunan selanjutnya diolah menggunakan Metode Chin dan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. *Beban dan Penurunan Metode Chin*

Siklus	Beban (Q)		X (S)	Y
	%	Ton	Penurunan (mm)	S/Q
I	0	0.00	0.00	0
	25	30	0.27	0.009
	50	60	0.48	0.008
II	75	90	0.86	0.00956
	100	120	1.05	0.00875
III	125	150	2.60	0.01733
	150	180	3.41	0.01894
IV	175	210	4.36	0.02076
	200	240	6.62	0.02758

Dari tabel diatas dapat digambarkan kurva dengan persamaan garis regresi linier sebagaimana dilihatkan pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. *Kurva Interpretasi Chin BP65*

Berdasarkan Gambar 8, dapat di perlihatkan bahwa :

Qv = 1/C1 ... (4)
= 1/0,0032
Qv = 312,50 ton

Qv ult = Qv / Faktor koreksi ... (5)
Qv ult = 312,50 / 1,2
= 260,42 ton

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

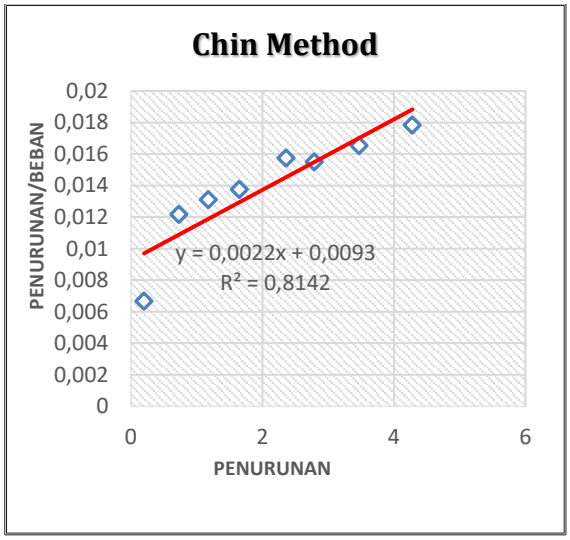
BP.120

Hasil pengolahan data beban dan penurunan berdasarkan Metode Chin menunjukkan variasi nilai pada setiap siklus pembebanan, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Beban dan Penurunan Metode Chin*

Siklus	Beban (Q)		X (S)	Y
	%	Ton	Penurunan (mm)	S/Q
I	0	0.00	0.00	0
	25	30	0.2	0.00667
	50	60	0.73	0.01217
II	75	90	1.18	0.01311
	100	120	1.65	0.01375
III	125	150	2.36	0.01573
	150	180	2.79	0.0155
IV	175	210	3.47	0.01652
	200	240	4.28	0.01783

Dari tabel diatas dapat digambarkan kurva dengan persamaan garis regresi linier sebagaimana dilihatkan pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. *Kurva Interpretasi Chin BP 120*

Berdasarkan Gambar 9, dapat di perlihatkan bahwa:

Qv = 1/C1
= 1/0,0022
Qv = 454,55 ton
Qv ult = Qv / Faktor koreksi
Qv ult = 454,55 / 1,2
= 378,79 ton

Berdasarkan kurva yang dihasilkan dari interpretasi chin dihasilkan daya dukung ultimit tiang sebesar 260,42 ton pada BP 65 dan 378,79 ton pada BP 120.

b. Data Pembebanan Dinamik

Pengujian dilakukan pada 2 titik tiang bor dengan data sebagai berikut :

Tabel 5. *Data Tiang Pengujian PDA*

Nama tiang	Diameter	Panjang Total	Berat *Hammer (Drop)*
BP 59	60 cm	22,00 m	5 ton
BP 113	60 cm	22,00 m	5 ton

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan yang mengacu pada ASTM D4945-07 menggunakan pemukul seberat 2% dari pada beban ultimit dihasilkan daya dukung sebagai berikut :

Tabel 6. *Hasil PDA test*

omor Tiang	Hasil PDA (ton)	CAPWAP	
		Daya Dukung (ton)	Penurunan Bersih (mm)
		Ru	DFN
BP.59	463	413,8	3,0
BP.113	511	419,5	1,0

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian dinamik menunjukkan bahwa kapasitas daya dukung ultimit hasil analisis CAPWAP sebesar 413,8 ton untuk BP 59 dan 419,5 ton untuk BP 113. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan beban aksial izin sebesar 120 ton, sehingga menunjukkan bahwa kapasitas aktual tiang masih berada dalam kondisi aman terhadap beban rencana. Selain itu, nilai penurunan bersih (DFN) yang relatif kecil, yaitu 3,0 mm pada BP 59 dan 1,0 mm pada BP 113, mengindikasikan bahwa mobilisasi daya dukung terjadi tanpa deformasi berlebihan, sehingga respons tanah–tiang masih dalam batas toleransi deformasi yang dapat diterima.

Apabila dibandingkan dengan hasil pengujian statik (SLT), nilai kapasitas dari CAPWAP cenderung lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan studi Likins dan Rausche (2020) yang menyatakan bahwa metode *High-Strain Dynamic Testing yang dianalisis menggunakan CAPWAP dapat me*nghasilkan estimasi kapasitas ultimit yang mendekati bahkan sedikit lebih besar dibandingkan uji beban statik, terutama apabila parameter redaman dan kekakuan tanah terkalibrasi dengan baik. Studi tersebut juga menegaskan bahwa CAPWAP mampu memisahkan kontribusi tahanan ujung (*end bearing*) dan gesekan selimut (*shaft resistance*), sehingga interpretasi kapasitas menjadi lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

c. Faktor Keamanan Tiang

Untuk mengetahui faktor keamanan (FK) masing-masing pada tiang uji, hasil pengujian akan dibandingkan dengan beban izin *(Q allowable)* dengan rincian pada tabel dibawah ini.

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Tabel 7. Faktor Aman Tiang

No titik	Q ultimit (ton)	Beban Ijin (ton)	(FK)	Hasil
BP. 65	306,34	120,0	2,55	Terpenuhi
	284,12	120,0	2,37	Terpenuhi
	260,42	120,0	2,17	Terpenuhi
BP.120	384,39	120,0	3,20	Terpenuhi
	391,57	120,0	3,26	Terpenuhi
	378,79	120,0	3,16	Terpenuhi
BP.59	413,8	120,0	3,45	Terpenuhi
BP.113	419,5	120,0	3,49	Terpenuhi

Berdasarkan tabel diatas semua tiang uji memiliki faktor keamanan lebih dari 2, artinya faktor keamanan terpenuhi. Mengacu pada persamaan Tomlinson 1997 (Qall = Qult / FK (2)) untuk tiang bor tanpa pembesaran diujung. Dan menurut coduto 2001 dan Hannigan et al 1997 dalam Hardiyatmo (2011).

d. Penurunan Tiang

1. Penurunan Tiang Tunggal

Diameter (D) : 60 cm
Beban : 240 ton
AP (Penampang tiang) :2826 cm2
Berat sendiri tiang : 12,21 ton (18 m)
: 14,92 ton (22 m)
Beban Ultimir : 252,21 ton (18 m)
: 254,92 ton (22 m)
Modulus Elastisitas : 303,12 ton/cm2

Penurunan dihitung dengan metode empiris berdasarkan buku manual pondasi tiang (Rahardjo, PP 2000) sebagai berikut:

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q \,.\, L}{E \,.\, A} \quad \text{... (6)}$$

Dimana :
S = Penurunan Tiang
D = Diameter Tiang
Q = Beban yang bekerja
L = Panjang Tiang
A = Luas Penampang tiang
E = Modulus Elastisitas tiang

Penurunan yang dihitung dari data diatas dengan metode empiris, akan dibandingkan dengan penurunan aktual hasil pengujian, dengan lebih rinci pada tabel dibawah ini :

Tabel 8. *Penurunan Tiang Tunggal*

Tiang Uji	Penurunan Aktual (mm)	Penurunan (S) (mm)	Hasil
BP.65	3.11	11.3	Aman
BP.120	3.01	12.5	Aman
BP.59	3.00	12.5	Aman
BP.113	1.00	12.5	Aman

2. Penurunan Kelompok Tiang

Penurunan kelompok tiang berdasarkan metode empiris merujuk pada buku manual pondasi tiang (Rahardjo, PP 2000) sebagai berikut :

$$Sg = S\sqrt{\frac{B_g}{D}} \quad \text{....(7)}$$

Dimana :
Sg = Penurunan pondasi kelompok tiang
S = Penurunan tiang tunggal
D = Diameter tiang
Bg = Lebar kelompok tiang

Tabel 9. Penurunan Kelompok Tiang

Pile Cap	Lebar Kelompok Tiang (Bg) (mm)	Penurunan Kelompok Empiris (mm)	Penurunan Kelompok Aktual (mm)	Hasil
PC2	3000	88.4	21.2	Aman
PC2A	2245	76.5	18.4	Aman
PC2B	2495	80.6	19.3	Aman
PC3	3000	88.4	21.2	Aman
PC4	3000	88.4	21.2	Aman
PC5	4318	106.0	25.4	Aman
PC6	4800	111.8	26.8	Aman

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode empiris, dihasilkan kesimpulan yang aman pada penurunan tiang tunggal maupun kelompok, perhitungan ini didasarkan pada hasil pengujian dibandingkan dengan perhitungan manual tiang.

e. Daya Dukung Tiang Kelompok dan Efisiensi Kelompok Tiang

Suhardjito Pradoto (1989), Sebelum menghitung daya dukung kelompok, tidak dapat mengalikan langsung dengan banyaknya tiang, tapi didefinisikan dengan rumus dibawah ini.

$$Qug = Qult \times n \times Eg \quad \text{... (8)}$$

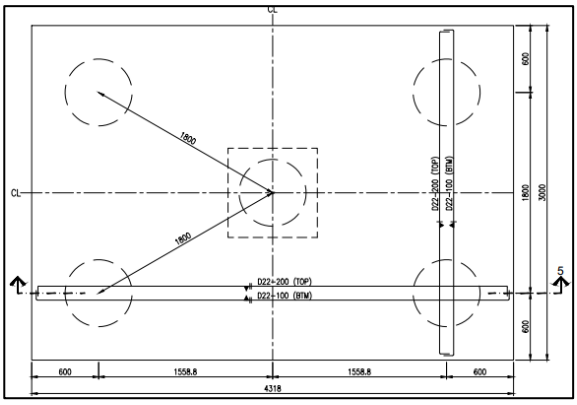
Dimana :
Qug = Kapasitas ultimit tiang kelompok
Qult = Kapasitas daya dukung satu tiang
Eg = Efisiensi Kelompok Tiang
n = Banyaknya tiang

maka dilakukan perhitungan efisiensi kelompok tiang terlebih dahulu dengan metode *Converse-Labrare*.

$$Eg = 1 - \Theta\ \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90\ m\ n} \quad \text{... (8)}$$

Dimana :
Eg = Efisiensi kelompok tiang
m = Jumlah baris tiang
n = Jumlah tiang dalam 1 baris
Θ = Tan-1 (d/s)
d = Diameter tiang
s = Jarak ke pusat tiang

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955



Gambar 10. *Pile cap PC5*

Analisis daya dukung kelompok tiang diambil dari kombinasi 5 tiang dengan data sebagai berikut :

P Kom = Pult x n = 240 x 5 = 1200 ton
Berat PC = Vol x Bj Beton
= 12,954 x 2,4 ton/m3
= 31,089 ton
Beban Total = P kombinasi + berat pile cap
= 1200 + 31,089 ton
= 1231,089 ton
Efisiensi Kelompok =

$$Eg = 1 - \theta \frac{(5-1)2 + (2-1)5}{90\ x\ 2\ x\ 5}$$

= 0.9996

Daya dukung ultimit yang diambil sebagai perhitungan diambil yang paling konservatif, yaitu metode chin pada titik BP 65 dengan panjang 18 meter, lebih rincian sebagai berikut:

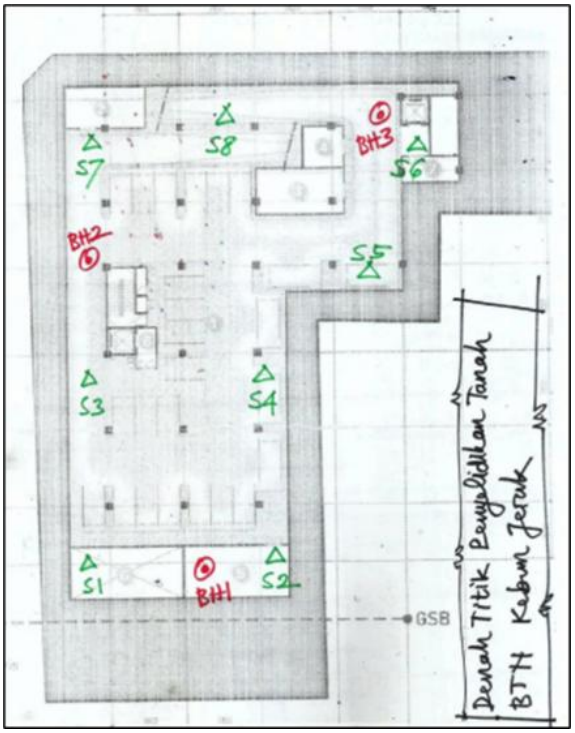
Qug = 260,4 ton x 5 x 0,9996
= 1301,54 ton > *beban ultimit (terpenuhi)*

Tabel 10. *Rekapitulasi Kelompok Tiang*

Pile Cap	Beban Kom (ton)	Beban Total (ton)	Eg	Qug (ton)	Hasil
PC2	480.00	488.64	0.99	520.74	Aman
PC2A	480.00	486.47	0.99	520.67	Aman
PC2B	480.00	487.19	0.99	520.71	Aman
PC3	720.00	736.50	0.99	780.97	Aman
PC4	960.00	981.60	0.99	1041.29	Aman
PC5	1200.00	1231.09	0.99	1301.54	Aman
PC6	1440.00	1474.56	0.99	1561.85	Aman

f. Daya Dukung N-SPT

Berdasarkan hasil analisis data penyelidikan tanah pada lokasi proyek pembangunan gedung tiga lantai di wilayah Kebon Jeruk, diketahui bahwa secara geologis area tersebut tersusun atas lapisan tanah berjenis lempung *(clay)*, pasir *(sand)*, dan lanau (*silt*). Titik penyelidikan tanah dengan SPT *(Standard Penetration Test)* dilakukan pada 3 titik pada lokasi proyek dirinci dalam tabel dibawah ini.



Gambar 11. *Denah Titik Borlog*
Sumber : Laporan Soil Investigation Proyek Gedung Kebon Jeruk, 2025.

1. Mayerhoff

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimit (Qu) tiang bor menggunakan metode Mayerhoff dilakukan dengan membagi kontribusi daya dukung menjadi dua komponen utama, yaitu daya dukung ujung tiang (Qb) dan daya dukung selimut tiang (Qs).

Data Tiang Bor
Diameter Tiang (D) = Ø 600 mm = Ø 0,6 m
Keliling Tiang (P) = π x 0,6 m
= 3,14 x 0,6 m
= 1,884 m
Luas Penampang (Ap) = ¼ x π x D^2
= ¼ x 3.14 x $0,6^2$
= 0,2826 m2

Pada kondisi tanah kohesif pada kedalaman 2,00 meter, kedua komponen tersebut dihitung berdasarkan parameter geoteknik hasil uji SPT, dengan formulasi perhitungan sebagai berikut:

Qb = 9 x cu x Ap ... (9)

cu = 0,6 x N-Spt
= 0,6 x 9
= 5,4 t/m2

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Qb = 9 x 5,4 t/m2 x 0,2826 m2
= 13,7 ton

Qs = α x cu x P x L
= 0.85x5,4 t/m2x1,884 m x 2 m
= 17,3 ton

Qu = Qb + Qs
= 13,7 ton + 17,3 ton
= 31,0 ton

Q all = Qu / FK
= 31,0 ton / 2
= 15,5 ton

Tabel 11. *N-Spt*

Depth	N-SPT Interval (m)	BH-1	BH-2	BH-3
		N-SPT	N-SPT	N-SPT
0	2	0.0	0.0	0.0
2	2	9.0	7.0	10.0
4	2	5.0	8.0	13.0
6	2	6.0	4.0	8.0
8	2	17.0	6.0	5.0
10	2	9.0	9.0	6.0
12	2	22.0	18.0	8.0
14	2	28.0	24.0	22.0
16	2	36.0	60.0	53.0
18	2	47.0	51.0	60.0
20	2	39.0	57.0	49.0
22	2	28.0	47.0	37.0
24	2	33.0	37.0	41.0
26	2	38.0	33.0	46.0
28	2	40.0	60.0	52.0
30	2	53.0	55.0	56.0
32	2	50.0	48.0	47.0
34	2	43.0	52.0	55.0
36	2	35.0	34.0	53.0
38	2	39.0	30.0	35.0
40	2	34.0	41.0	31

Sumber : Laporan *Soil Investigation* Proyek Gedung Kebon Jeruk, 2025

Pada kondisi tanah non-kohesif pada kedalaman 18,00 m, kedua komponen tersebut dihitung berdasarkan parameter geoteknik hasil uji SPT, dengan formulasi perhitungan sebagai berikut:

Qb = 40 x Nb x Ap . (10)

Nb = (N1+N2)/2
= (39+28)/2
= 33,50

Qb = 40 x 33,5 x 0,2826 m2
= 378,6 Kn
= 37,86 ton

Qs = 0,2 x N-Spt x P x L
= 0,2 x 47 x 1,884 x 2
= 35,4 ton

Qu = Qb + Qs (komulatif)
= 37,86 ton + 289,1 ton
= 326,9 ton

Q all = Qu / FK
= 326,9 ton / 2
= 163,45 ton

Perhitungan kapasitas daya dukung tanah pada penelitian ini didasarkan pada data uji *Standard Penetration Test (SPT*) yang diperoleh dari tiga titik bor. Data SPT tersebut disajikan secara rinci dalam tabel di bawah ini.

Tabel 12. *Daya Dukung Ultimit Mayerhoff*

Depth (m)	Daya Dukung Ultimit (ton)		
	BH –1	BH-2	BH-3
18	326.95	275.48	325.56
22	384.79	357.81	449.92

2. Reese dan Wright

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimit (Qu) tiang bor menggunakan metode Reese dan Wright dilakukan dengan membagi kontribusi daya dukung menjadi dua komponen utama, yaitu daya dukung ujung tiang (Qp) dan daya dukung selimut tiang (Qs). Pada kondisi tanah kohesif pada kedalaman 2,00 m, kedua komponen tersebut dihitung berdasarkan parameter geoteknik hasil uji SPT, dengan formulasi perhitungan sebagai berikut:

Qp = Ap x qp . (11)

qp = 9 x cu

cu = 0,6 x N-Spt
= 0,6 x 9
= 5,4 t/m2

qp = 9 x 5,4
= 48,6 t/m2

Qp = 0.2826 m2 x 48,6 t/m2
= 13,73 ton

Qs = f x L x P

f = α x cu = 0,55 x 5,4 t/m2
= 2,97 t/m2

Qs = 2,97 t/m2 x 2 m x 1,884 m
= 11,19 ton

Qu = Qp + Qs
= 13,73 ton + 11,19 ton
= 24,90 ton

Q all = Qu / FK
= 24,90 ton / 2
= 12,46 ton

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Pada kondisi tanah non-kohesif pada kedalaman 18,00 meter, kedua komponen tersebut dihitung berdasarkan parameter geoteknik hasil uji SPT, dengan formulasi perhitungan sebagai berikut:

$$Qp = Ap \times qp \quad (12)$$

qp = 7 x N-Spt
= 7 x 47
= 329 t/m2

Qp = 0.2826 m2 x 329 t/m2
= 92,97 ton

Qs = f x L x P

f = 0,32 x N-Spt
= 0,32 x 47
= 15,04 t/m2

Qs = 15,04 t/m2 x 2 x 1,884
= 56,67 ton

Qu = Qp + Qs (komulatif)
= 92,97 ton + 220,80 ton
= 313,78 ton

Q all = Qu / FK
= 313,78 ton / 2
= 156,89 ton

Tabel 13. *Daya Dukung Ultimit Reese & Wright*

Depth (m)	Daya Dukung Ultimit (ton)		
	BH –1	BH-2	BH-3
18	313.78	297.5	309.09
22	356.98	386.85	369.55

Berdasarkan perhitungan kapasitas daya dukung tiang pondasi dari data uji N-SPT dengan metode Mayerhoff dan Reese dan Wright, dilakukan perbandingan dengan hasil uji aktual yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 14. *Persentase terhadap Borehole 1*

No titik	L (m)	Metode Interpretasi	Persentase (%)	
			BH -1	
			Mayerhoff	Reese & Wright
BP. 65	18	Davisson	93.7	97.6
		Mazurkiewicz	86.9	90.5
		Chin	79.7	83.0
BP.120	22	Davisson	99.9	107.7
		Mazurkiewicz	101.8	109.7
		Chin	98.4	106.1
BP.59	22	Capwap	107.5	115.9
BP.113	22	Capwap	109.0	117.5

Tabel 15. *Persentase terhadap Borehole 2*

No titik	L (m)	Metode Interpretasi	Persentase (%)	
			BH -2	
			Mayerhoff	Reese & Wright
BP. 65	18	Davisson	111.2	103.0
		Mazurkiewicz	103.1	95.5
		Chin	83.0	87.5
BP.120	22	Davisson	107.4	99.4
		Mazurkiewicz	109.4	101.2
		Chin	105.9	97.9
BP.59	22	Capwap	115.6	107.0
BP.113	22	Capwap	117.2	108.4

Tabel 16. Pers*entase terhadap Borehole 3*

No titik	L (m)	Metode Interpretasi	Persentase (%)	
			BH -3	
			Mayerhoff	Reese & Wright
BP. 65	18	Davisson	94.1	99.1
		Mazurkiewicz	87.3	91.9
		Chin	94.1	84.3
BP.120	22	Davisson	85.4	104.0
		Mazurkiewicz	87.0	106.0
		Chin	84.2	102.5
BP.59	22	Capwap	92.0	112.0
BP.113	22	Capwap	93.2	113.5

Berdasarkan tabel-tabel diatas Analisis dilakukan untuk tiga titik penyelidikan (BH-1, BH-2, dan BH-3) dengan perbandingan kapasitas dukung tiang berdasarkan metode statik (Davisson, Mazurkiewicz, Chin) dan dinamik (CAPWAP), terhadap hasil estimasi dari data N-SPT menggunakan metode Mayerhoff dan Reese & Wright.

Pada BP.65 (18 m) Metode Davisson menunjukkan hasil antara 93.7%–111.2%, paling sesuai di BH-2. Mazurkiewicz lebih konservatif (86.9%–103.1%), sementara Chin memberikan estimasi terendah (79.7%–94.1%), mengindikasikan kecenderungan undervalue terhadap hasil N-SPT.

Pada BP.120 (22 m) Davisson menunjukkan hasil 85.4%–107.7%, sedangkan Mazurkiewicz cenderung konsisten dan tinggi (87.0%–109.7%). Chin tetap paling konservatif, namun masih dalam kisaran wajar (84.2%–106.1%).

Kemudian untuk BP.59 & BP.113 (22 m) Pengujian dinamik menggunakan CAPWAP menghasilkan kapasitas dukung tertinggi (92.0%–117.5%), khususnya di BH-1 dengan Reese & Wright. Hal ini menunjukkan metode dinamik cenderung memberikan estimasi lebih

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

tinggi dibanding metode statik maupun data N-SPT, tergantung kondisi lapangan dan kalibrasi parameter.

Korelasi kapasitas daya dukung berbasis N-SPT memiliki variasi ketelitian sebagaimana dilaporkan oleh Abu-Farsakh dan Titi (2021), yang menunjukkan bahwa pendekatan empiris dapat menghasilkan deviasi tertentu terhadap hasil uji beban aktual.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengevaluasi kapasitas daya dukung pondasi tiang bor pada proyek pembangunan gedung bertingkat di Kecamatan Kebon Jeruk, Jakarta Barat, berdasarkan hasil *Static Loading Test (SLT), Pile Driving Analyzer (PDA),* dan perhitungan teoritis berbasis N-SPT. Hasil pengujian SLT menunjukkan kapasitas ultimit tiang 18 m sebesar 260,42–306,40 ton, sedangkan tiang 22 m sebesar 378,79–391,57 ton. Pengujian PDA menghasilkan kapasitas hingga 419,5 ton, yang mengindikasikan kondisi tanah pendukung cukup baik. Tiang bor Ø60 cm dengan kedalaman 18 m direkomendasikan sebagai desain pondasi yang efektif karena memenuhi kapasitas minimum 240 ton serta mampu menjamin stabilitas dan keamanan struktur gedung.

Daftar Pustaka

Abu-Farsakh, M., & Titi, H. (2021). Reliability of SPT-based pile capacity prediction methods. *Transportation Geotechnics, 28*, 100548.

Adel, R., & Shakir, R. R. (2022). Evaluation of static pile load test results of ultimate bearing capacity by interpreting methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 961(1), 012013. https://doi.org/10.1088/1755-1315/961/1/012013

Al Faritzie, H., Djohan, B., & Hastila, M. A. (2020). Perencanaan struktur bawah jembatan daerah perbukitan Kecamatan Semendo Darat Tengah Kabupaten Muara Enim. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 32–40.

ASTM International. (2007a). *ASTM D3689-07: Standard test methods for deep foundations under static axial tensile load*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2007b). *ASTM D1143/D1143M-07: Standard test methods for deep foundations under static axial compressive load*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2007c). *ASTM D3966-07: Standard test methods for deep foundations under lateral loads*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2007d). *ASTM D4945-07: Standard test method for high-strain dynamic testing of deep foundations*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-6475-2000: Metode uji pondasi tiang dengan beban statis tekan aksial*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2017a). *SNI 8459:2017: Metode uji fondasi dalam dengan high-strain dynamic pile (HSDP)*. Jakarta: BSN.

Badan Standardisasi Nasional. (2017b). *SNI 8460:2017: Spesifikasi perancangan geoteknik*. Jakarta: BSN.

Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan perancangan pondasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Irma, D., & Sudirja, S. (2022). Perbandingan metode Broms (1964) dengan metode Davisson (1972) terhadap analisis daya dukung lateral dan defleksi pada pondasi tiang bor tunggal. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 8(1), 1–12.

Jaya, H. H., Wahyuni, M., & Kawanda, A. (2023). Kajian interpretasi daya dukung pondasi tiang bor menggunakan hasil uji beban statis aksial tekan dan uji beban dinamis (Studi kasus: Proyek Queen City, Kota Semarang). *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, 1–10.

Kim, S., & Lee, J. (2023). Comparative assessment of graphical methods for determining ultimate pile capacity from static load tests. *Soils and Foundations*, 63(4), 101234.

Likins, G., & Rausche, F. (2020). High-strain dynamic pile testing and CAPWAP analysis for deep foundations. *International Conference on Deep Foundations.*

Luthfi, M. N. Q., & Suhardi, D. (2023). Pengujian pembebanan statis (tes axial) dan dinamis (PDA). *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia UMM*, 3(2).

Maulana, B. M., Roesyanto, R., & Iskandar, R. (2021). Analisis pondasi bored pile pada proyek jalan tol Medan–Kualanamu–Tebing dengan metode analitis dan metode elemen hingga. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(6), 978–993.

Mulyono, M., & Agustina, D. H. (2022). Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal dan kelompok (Studi kasus proyek Hangar Lion Air Batam). *Sigma Teknika*, 5(2), 372–382.

Nakazawa, K. (1980). *Mekanika tanah dan teknik pondasi*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Pradoto, S. (1989). *Teknik pondasi*. Bandung: Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa ITB.

Rahardjo, P. P. (2000). *Manual pondasi tiang*. Bandung: Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Sari, O., & Amin, M. S. U. (2024). Evaluasi daya dukung dan penurunan bored pile berdasarkan hasil pengujian PDA (Pembangunan Universitas KH. Abdul Wahab Hasbullah Jombang). *Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains*, 2(2), 57–62.

Tarigan, R. (2020). Komparasi kinerja alat pile driving analyzer dan software CAPWAP dalam menghasilkan daya dukung ultimit pondasi tiang. *Jurnal Darma Agung*, 28(3), 378–386.

Umari, Z. F., Djohan, B., & Subaktio, A. (2019). Desain pondasi dengan menggunakan batu kali pada Jalan Sekayu–Betung. *Jurnal Teknik Sipil UNPAL*, 9(2),

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

125–133.

Yulianti, D., & Djohan, B. (2021). Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Jembatan Air Manggala Prabumulih dengan metode Mayerhof dan metode ENR. *Jurnal Ilmiah Bering's*, 8(1), 10–15.

Zhang, Y., Liu, H., & Chen, R. (2023). Evaluation of pile load test interpretation methods for axial capacity in soft clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 149(6), 04023032.