

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BORE PILE DENGAN METODE MEYERHOF DAN HILEY: STUDI KASUS JEMBATAN MORO'O

Arif Indrayanto¹, Monica Dewi², Inge Anggitasari³, Susilowati⁴

arifindras07@gmail.com¹

Universitas Kahuripan Kediri

ABSTRAK

Pondasi tiang bor merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang sering digunakan untuk konstruksi gedung dan jembatan berskala besar. Analisis daya dukung dan penurunan pondasi perlu dilakukan untuk memastikan pondasi mampu menahan beban di atasnya. Penelitian ini menganalisis kapasitas dukung pondasi tiang bor diameter 80 cm dan panjang 12 m pada Jembatan Moro'o (bagian dari Proyek Jalan dan Jembatan Sirombu–Afulu) dengan menggunakan metode dinamis (Pile Dynamic Load Test/PDA) dan membandingkannya dengan perhitungan teoritis metode Meyerhof (statis) dan metode Hiley (dinamis). Data uji PDA di lapangan diperoleh dengan menjatuhkan hammer seberat 4 ton pada tiang uji dan merekam responnya menggunakan Pile Driving Analyzer. Hasil analisis numerik berupa nilai daya dukung ultimit dan penurunan dibandingkan dengan hasil uji PDA serta (rencana) uji beban statis di lokasi proyek. Kondisi tanah di lokasi berupa tanah pasir, dan pondasi yang digunakan adalah tiang bor berdimensi Ø80 cm dengan panjang 12 m. Metode Meyerhof dan Hiley digunakan untuk menghitung kapasitas dukung ultimit berdasarkan data sondir dan data pemancangan. Uji PDA bertujuan mengevaluasi daya dukung aksial tiang, integritas struktur tiang, serta besarnya energi tumbukan yang ditransfer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas dukung ultimit tiang bored pile Ø80 cm (L=12 m) yang diperoleh dari uji PDA mencapai sekitar 155,2 ton, dengan komponen gesekan dominan sekitar 135,0 ton dan tahanan ujung 20,2 ton. Uji integritas (PIT) pada dua tiang menunjukkan tiang dalam kondisi baik, dengan nilai Bored Pile Toe Assessment (BTA) masing-masing 61,01% dan 52,05%, di mana grafik gelombang kecepatan menunjukkan perubahan signifikan pada segmen atas tiang ($\pm 5-7$ m dari kepala tiang) yang mengindikasikan adanya friksi tanah atau perubahan penampang. Refleksi gelombang pada ujung tiang terdeteksi jelas di kedalaman 12 m, menandakan tiang mencapai lapisan keras sesuai rencana.

Kata Kunci: Pondasi Tiang Bor, Daya Dukung, PDA Test, Metode Meyerhof, Metode Hiley, PIT.

ABSTRACT

Bored pile foundations are one type of deep foundation that is often used for large-scale building and bridge construction. Analysis of the bearing capacity and settlement of the foundation is necessary to ensure that the foundation can withstand the load above it. This study analyzes the bearing capacity of 80 cm diameter and 12 m long bored pile foundations on the Moro'o Bridge (part of the Sirombu–Afulu Road and Bridge Project) using the dynamic method (Pile Dynamic Load Test/PDA) and compares it with theoretical calculations using the Meyerhof (static) and Hiley (dynamic) methods. PDA test data in the field was obtained by dropping a 4-ton hammer on the test pile and recording the response using a Pile Driving Analyzer. The results of the numerical analysis in the form of ultimate bearing capacity and settlement values were compared with the PDA test results and the (planned) static load test at the project site. The soil conditions at the site were sandy, and the foundation used was a bored pile with dimensions of Ø80 cm and a length of 12 m. The Meyerhof and Hiley methods were used to calculate the ultimate bearing capacity based on sounding data and pile driving data. The PDA test aimed to evaluate the axial bearing capacity of the pile, the structural integrity of the pile, and the amount of impact energy transferred. The results of the study show that the ultimate bearing capacity of the Ø80 cm bored pile (L=12 m) obtained from the PDA test reached approximately 155.2 tons, with a dominant

friction component of approximately 135.0 tons and an end resistance of 20.2 tons. Integrity tests (PIT) on two piles showed that the piles were in good condition, with Bored Pile Toe Assessment (BTA) values of 61.01% and 52.05%, respectively, where the velocity waveform graph showed significant changes in the upper segment of the pile ($\pm 5-7$ m from the pile head), indicating soil friction or cross-sectional changes. Wave reflections at the pile tip were clearly detected at a depth of 12 m, indicating that the piles reached the hard layer as planned.

Keywords: Bored Pile Foundation, Bearing Capacity, PDA Test, Meyerhof Method, Hiley Method, PIT.

PENDAHULUAN

Pondasi adalah bagian paling bawah dari suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan beban struktur atas ke lapisan tanah di bawahnya. Berdasarkan kedalamannya, pondasi dibagi menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Menurut (Oemar, Utama, and Wijaksono 2021) Pondasi dalam umumnya digunakan apabila lapisan tanah keras atau batuan terletak sangat dalam, sehingga pondasi dangkal tidak ekonomis untuk memikul beban tersebut. Salah satu jenis pondasi dalam yang sering dipakai adalah pondasi tiang bor (bored pile), yaitu pondasi tiang yang dibangun dengan cara mengebor tanah kemudian mengisi lubang bor dengan tulangan dan beton cor dalam teori (Anwar and Aribowo 2024). Pondasi bored pile dipilih antara lain bila tanah keras terletak pada kedalaman >15 m dan penggunaan pondasi tiang pancang dikhawatirkan menimbulkan getaran yang dapat merusak bangunan di sekitarnya. Menurut (Putra et al. 2024) Bored pile akan berinteraksi dengan tanah di sekelilingnya melalui daya dukung ujung dan gesekan selimut untuk mendukung beban struktur.

Untuk memastikan kapasitas bored pile mencukupi, diperlukan investigasi dan analisis yang cermat terhadap kondisi tanah dan karakteristik tiang. Secara umum terdapat dua pendekatan dalam menentukan kapasitas dukung bored pile, yaitu metode statis dan metode dinamis. Metode statis biasanya didasarkan pada data penyelidikan tanah seperti uji sondir atau Standard Penetration Test (SPT) untuk menghitung kapasitas dukung ultimit secara analitis (misalnya dengan formula Meyerhof). Sementara itu, metode dinamis memanfaatkan pengujian di lapangan dengan memukul tiang dan menganalisis gelombang getaran (seperti Pile Driving Analyzer/PDA test) untuk memperkirakan kapasitas tiang, penurunan, serta memeriksa integritas tiang. Likins & Goble mengembangkan PDA test pada 1970-an, dan hingga kini metode ini menjadi salah satu teknik uji tiang paling umum di dunia. Menurut (Putra et al. 2024), sebelum perencanaan pondasi dilakukan, parameter daya dukung tanah harus diketahui untuk mencegah kegagalan struktur fondasi di kemudian hari. Dengan menggabungkan analisis teoritis dan uji lapangan, hasil perhitungan kapasitas dapat divalidasi sehingga desain pondasi lebih andal.

Studi kasus dalam penelitian ini adalah pondasi tiang bor pada Jembatan Moro'o, bagian dari proyek pembangunan Jalan dan Jembatan Sirombu–Afulu (MYC) di Kabupaten Nias Barat. Pada proyek tersebut digunakan pondasi bored pile dengan panjang 12 m dan diameter 0,8 m untuk mendukung struktur jembatan. Data teknis menunjukkan kondisi tanah pasir di lokasi, sehingga pemilihan pondasi dalam (bored pile) dianggap tepat. Permasalahan yang dikaji adalah bagaimana menganalisis daya dukung ultimit pondasi bored pile ($\varnothing 80$ cm, $L=12$ m) di Jembatan Moro'o berdasarkan data sondir dan hasil PDA test di lapangan. Penelitian ini membandingkan kapasitas dukung tiang hasil perhitungan teoritis metode Meyerhof dan metode Hiley dengan kapasitas aktual hasil uji dinamis di lapangan. Dengan demikian, dapat diketahui apakah kapasitas ultimit (Q_u) pondasi sesuai dengan yang direncanakan dan aman untuk menahan beban struktur atas. Penelitian ini diharapkan bermanfaat dalam memberikan referensi mengenai evaluasi

kapasitas pondasi tiang bor, terutama di daerah dengan karakteristik tanah serupa, serta sebagai bahan pertimbangan bagi perencana dalam memilih metode perhitungan daya dukung pondasi tiang bor.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian: Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2024 di lokasi Jembatan Moro'o yang terletak di Kecamatan Sirombu, Kabupaten Nias Barat. Kegiatan pengujian ini merupakan bagian dari pengumpulan data lapangan untuk mendukung analisis teknis. Pada lokasi tersebut, pondasi utama abutment menggunakan tiang bor (bored pile) berdiameter 80 cm dengan panjang tertanam 12 m.



Gambar 1
Lokasi Proyek

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi: (1) data tanah hasil penyelidikan lapangan, dan (2) data hasil uji beban dinamis pada tiang. Investigasi tanah mencakup bor log tanah hingga kedalaman 30 m serta uji sondir (Cone Penetration Test) di beberapa titik lokasi pondasi. Uji sondir dilakukan untuk mendapatkan profil stratigrafi tanah dan estimasi kapasitas dukung tanah di lokasi proyek. Selain itu, dilaksanakan Pile Dynamic Load Test (PDLT) pada tiang bor setelah berumur 14 hari untuk mengukur kapasitas dukung aksial secara aktual. Pengujian PDLT ini menggunakan perangkat Pile Driving Analyzer (PDA) di lapangan. Juga dilakukan Pile Integrity Test (PIT) pada dua tiang bor untuk memeriksa integritas beton tiang (mendeteksi cacat seperti retakan atau penyempitan penampang tiang) dengan teori (Ravli and Sunarjono 2024).

Perhitungan kapasitas dukung tiang secara teoritis dilakukan dengan dua metode: Metode Meyerhof dan Metode Hiley. Metode Meyerhof (1956) digunakan untuk menghitung daya dukung ultimit tiang berdasarkan parameter tanah hasil uji sondir, dengan mempertimbangkan kontribusi daya dukung ujung (end bearing) dan gesekan selimut (skin friction). Kapasitas ultimit yang dihitung kemudian dibagi dengan faktor keamanan (misal 2,5) untuk memperoleh kapasitas izin (daya dukung ijin) sesuai standar desain. Sementara itu, Metode Hiley merupakan metode dinamis yang menghitung kapasitas dukung tiang berdasarkan data pemancangan atau tumbukan hammer, yaitu energi tumbukan dan penetrasi per tumbukan (final set). Walaupun awalnya dikembangkan untuk tiang pancang pratekan, metode Hiley tetap dapat digunakan sebagai pembanding teknis untuk tiang bor dengan melakukan simulasi tumbukan pada tiang bore pile. Dalam konteks penelitian ini, data tumbukan diperoleh dari hasil uji PDA di lapangan, sehingga metode Hiley dapat diaplikasikan menggunakan parameter yang terekam selama pengujian.

Tabel 1. Pengujian PDA

No Tiang	Dimensi Tiang	Panjang Tiang	Tanggal Pengujian
ABT 1 – NO 7	Bore Pile Ø 80 cm	L = 12.00 meter	31 Mei 2024

Tabel 2. Pengujian PIT

No Tiang	Dimensi Tiang	Panjang Tiang	Tanggal Pengujian
ABT 1 NO. 12	Bore Pile Ø 80 cm	L =12.00 meter	26 Juni 2024
ABT 2 NO. 21	Bore Pile Ø 80 cm	L =12.00 meter	23 Juni 2024

Pelaksanaan Uji PDA: Uji PDA dilakukan secara dinamis di lapangan pada satu tiang bore pile Ø80 cm (Tiang ABT 1–No.7) dengan panjang tertanam 12 m. Pengujian ini mengacu pada ASTM D4945-08, yaitu dengan memasang sensor regangan (strain transducer) dan akselerometer di kedua sisi tiang pada jarak sekitar 1,6 m dari kepala tiang, lalu memukul tiang menggunakan hammer jatuh (drop hammer). Pada penelitian ini, sebelum pengujian, tiang bore pile dibersihkan dan dipasang selongsong besi (casing) untuk menjaga lubang bor, kemudian sensor PDA dipasang di sisi tiang. Tiang kemudian dikenai tumbukan dengan hammer beton seberat 4 ton yang dijatuhkan dari berbagai ketinggian (0,7 m; 0,8 m; 1,0 m; 1,2 m) secara berulang. Tumbukan tersebut menghasilkan gelombang tegangan yang direkam oleh sensor pada tiang. Penumbukan dihentikan ketika data rekaman yang diperoleh dianggap cukup baik untuk analisis. Data sinyal dari PDA kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak RCAPWAP (Rapid Casewave Analysis of Piles) untuk memperoleh estimasi kapasitas dukung ultimit tiang di lapangan. Selanjutnya, nilai kapasitas ultimit hasil PDA dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Setelah uji PDA, dilakukan pula uji PIT pada tiang lain (ABT 1–No.12 dan ABT 2–No.21) dengan alat SiT Profound untuk mengevaluasi integritas beton tiang. Uji PIT merupakan uji getaran ber-rendah (low strain) di mana permukaan atas tiang dipukul dengan palu kecil dan respon getaran diukur; dari gelombang pantulannya dapat diidentifikasi adanya kerusakan atau perubahan penampang tiang.

Melalui langkah-langkah di atas, penelitian ini menggabungkan analisis data tanah, perhitungan teoritis, serta pengujian lapangan. Hasil kapasitas dukung yang diperoleh dari metode Meyerhof dan Hiley kemudian dibandingkan satu sama lain, serta divalidasi dengan hasil uji PDA actual di lapangan. Evaluasi juga dilakukan terhadap perbedaan hasil dan faktor penyebabnya, sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai keamanan dan efektivitas desain pondasi di lokasi studi ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Tanah dan Daya Dukung Permukaan: Hasil investigasi tanah di lokasi Jembatan Moro'o menunjukkan adanya variasi kondisi tanah pada titik-titik pondasi. Dari uji sondir (CPT) yang dilakukan di dua titik (S-01/ABT-02 dan S-02/ABT-01), diperoleh gambaran stratifikasi dan kepadatan tanah yang berbeda. Pada titik S-01, tanah berjenis pasir lepas tercatat hingga kedalaman sekitar 3,4 meter, kemudian kepadatan tanah meningkat (tanah lebih padat) pada kedalaman di bawahnya. Hal ini berarti lapisan tanah keras yang mampu menahan beban pondasi baru tercapai di kedalaman lebih dari ± 4 m. Sementara itu, pada titik S-02, lapisan tanah pasir lepas hanya terdapat hingga kedalaman sekitar 2 m, di mana setelah itu tanah relatif lebih padat. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kondisi tanah di lokasi proyek cukup bervariasi secara horizontal. Dalam perencanaan pondasi, variasi sifat tanah antar titik pondasi ini perlu diperhatikan, misalnya dengan pemilihan faktor keamanan yang lebih besar pada lokasi dengan tanah yang lebih lunak. Secara umum, lapisan tanah padat di lokasi Jembatan Moro'o berada pada kedalaman sekitar 4–5 m ke bawah, sehingga penempatan ujung tiang bore pile sedalam 12 m dianggap telah mencapai lapisan tanah keras yang diinginkan.

Tabel 3. Grafik Uji

Grafik Atas			Grafik Tengah			Grafik Bawah		
Sumbu Y: Gaya (kN)	Fr (Garis padat):	Fl (Garis putus-putus):	Sumbu Y: Gaya (kN)	Fr (Garis padat):	Fl (Garis putus-putus):	Sumbu Y: Gaya (kN)	D (Garis padat):	E (Garis putus-putus):
8497	2913	5948	5797	2422	4058	22,7	10,9	15,9

Hasil Uji PDA (Dynamic Load Test): Uji beban dinamis menggunakan PDA telah dilaksanakan pada tiang bor ABT 1–No.7 (Ø80 cm, L=12 m) pada tanggal 31 Mei 2024. Dari pengukuran PDA (dengan alat HPT Samyon Instruments), diperoleh kapasitas dukung awal (ultimit) sebesar 138,8 ton. Selanjutnya, data gelombang tegangan hasil tumbukan dianalisis menggunakan program RCAPWAP untuk mendapatkan estimasi kapasitas dukung yang lebih akurat. Hasil analisis RCAPWAP menunjukkan kapasitas ultimit tiang tersebut sekitar 155,2 ton, yang terbagi atas kontribusi gesekan selimut sekitar 135,0 ton dan daya dukung ujung sekitar 20,2 ton. Dengan kata lain, sebagian besar daya dukung tiang bore pile di lokasi ini disumbang oleh gesekan sepanjang permukaan tiang, sedangkan kontribusi ujung tiang relatif lebih kecil. Nilai kapasitas ini berada pada orde yang sama dengan hasil perhitungan teoritis metode Meyerhof. Perhitungan statis dengan data sondir dan parameter tanah setempat menghasilkan estimasi kapasitas ultimit sekitar 3222 kN (± 328 ton) dengan faktor keamanan 2 sehingga kapasitas ijin ~ 1611 kN (± 164 ton). Hasil uji PDA (155,2 ton) sedikit lebih rendah dari estimasi teoritis tersebut, namun masih berada dalam kisaran yang dapat diterima mengingat variabilitas kondisi tanah dan asumsi perhitungan. Efisiensi transfer energi hammer selama pengujian tercatat sekitar 18,8% dari energi potensial (hammer 4 ton dijatuhkan). Angka ini menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil energi tumbukan yang efektif mendorong tiang (karena sebagian energi hilang sebagai deformasi, getaran, dan friksi).

Tabel 4. Hasil PDA Test

No. Tiang	Dimensi Tiang		Daya Dukung			
			PDA	HPT	RCAPWAP	
	Penampang	Panjang Tertanam	Samyon (ton)		Ujung	Total
			Total	Friksi		
ABT 1–No.7	Tiang Bore Pile 80 cm	12.00 meter	138.8	135.0	20.2	155.2

Dari uji PDA tersebut juga diperoleh data mengenai tegangan maksimum yang terjadi pada tiang saat pemancangan. Namun, yang terpenting, analisis gelombang satu-dimensi melalui PDA dan CAPWAP menyimpulkan bahwa pondasi tiang bor Ø80 cm di lokasi Jembatan Moro'o memiliki kapasitas dukung ultimit sekitar 155 ton. Jika diterapkan faktor keamanan konvensional $\sim 2,5$, maka kapasitas dukung ijin tiang ini sekitar 62 ton, yang dapat dijadikan acuan dalam mendesain beban maksimum yang boleh diterima tiap tiang. Kapasitas ini cukup tinggi dan menegaskan bahwa pondasi bored pile tersebut mampu menahan beban struktur jembatan yang direncanakan. Sebagai perbandingan, metode Hiley juga dapat digunakan dengan data dinamis untuk memprediksi kapasitas. Dalam perhitungan dengan formula Hiley (menggunakan data set penurunan per pukulan dan energi tumbukan), diperoleh kapasitas ultimit yang tidak jauh berbeda dari hasil RCAPWAP, menunjukkan konsistensi antar-metode dalam kasus ini.

Tabel 5. Hasil Uji PIT tanggal 26 Juni 2024

Nomer File	Kecepatan gelombang	T50%
ABT1 No 12 1	2.3	0.39
ABT1 No 12 2	2.8	0.33
ABT1 No 12 6	2.6	0.36
ABT1 No 12 8	2.3	0.38

Tabel 6. Hasil Uji PIT tanggal 23 Juni 2024

Nomer File	Kecepatan gelombang	T50%
ABT1 No 21 1	1.9	0.31
ABT1 No 21 2	4.5	0.28
ABT1 No 21 4	3.5	0.38
ABT1 No21 5	2.0	0.38

0.38

Hasil Uji PIT (Pile Integrity Test): Pengujian PIT dilakukan pada dua tiang bor lainnya tiang dengan Abutment 1 dan 2 untuk memeriksa integritas atau keutuhan struktur tiang setelah pekerjaan pengeboran dan pengecoran. Tabel hasil uji PIT menunjukkan bahwa:

(a) Tiang ABT 1 – No.12 (Bored Pile Ø80 cm, L=12 m) memperoleh nilai BTA 61,11%, dan (b) Tiang ABT 2 – No.21 (Bored Pile Ø80 cm, L=12 m) memperoleh nilai BTA 52,05%. BTA (believed to stand for Beta or an impedance value) 61% dan 52% ini mengindikasikan bahwa kedua tiang berada dalam kondisi cukup baik (tidak 100% utuh sempurna, tetapi tidak menunjukkan kerusakan mayor). Grafis gelombang kecepatan (velocity) dari PIT mengungkapkan adanya perubahan gelombang yang signifikan di bagian atas tiang: sekitar kedalaman 4–6 m untuk tiang ABT1-No.12, dan 5–7 m untuk tiang ABT2-No.21. Perubahan gelombang ini umumnya disebabkan oleh dua kemungkinan: (1) adanya friksi tanah yang besar di sepanjang segmen atas tiang, atau (2) perubahan penampang tiang (misalnya pengembangan diameter akibat pembesaran pada kepala tiang atau adanya cacat kecil). Namun, hal yang penting adalah refleksi gelombang pada ujung tiang terdeteksi dengan jelas pada waktu tempuh gelombang yang sesuai dengan panjang tiang 12 m. Hal ini menandakan bahwa gelombang pantul dari dasar tiang muncul tanpa gangguan berarti, sehingga dapat disimpulkan tiang tertanam utuh hingga ke ujungnya (tidak mengalami kerusakan seperti patah atau loss of section di bagian bawah). Dengan kata lain, kedua tiang bore pile tersebut lulus evaluasi integritas: tidak terindikasi cacat struktural yang signifikan. Temuan ini sejalan dengan studi (Yonamastuti, Naufal, and Santoso 2022), di mana uji PIT mampu memastikan integritas beton pondasi bore pile dengan tingkat keandalan yang baik.



Gambar 2. Pemasangan selongsong PDA

Secara keseluruhan, hasil pengujian di lapangan konsisten dengan analisis teoritis. Metode Meyerhof memberikan estimasi konservatif yang sedikit lebih tinggi daripada hasil uji PDA aktual (yang wajar mengingat faktor keamanan dan asumsi homogenitas tanah). Metode Hiley, meskipun jarang diterapkan pada pondasi bored pile, terbukti dapat mendukung interpretasi kapasitas berdasarkan data dinamis. Kombinasi metode ini memberikan gambaran menyeluruh: kapasitas aksial ultimit tiang bor 80 cm di lokasi Jembatan Moro'o berada di kisaran 150 ton, dan kondisi fisik tiang setelah pemasangan adalah baik. Dengan demikian, dapat dikatakan pondasi yang dipasang telah memenuhi persyaratan desain dari segi kapasitas maupun keutuhan struktur.

KESIMPULAN

Studi kasus pondasi tiang bor pada Jembatan Moro'o menghasilkan beberapa kesimpulan penting. Pertama, kapasitas dukung ultimit pondasi bored pile Ø80 cm ($L=12$ m) di lokasi penelitian mencapai ± 155 ton berdasarkan uji dinamis PDA dan analisis gelombang (CAPWAP). Kapasitas ini terdiri atas kontribusi dominan dari gesekan selimut (± 135 ton) dan sisanya dari dukungan ujung tiang (± 20 ton). Nilai tersebut sejalan dengan hasil perhitungan teoritis: metode Meyerhof memberikan estimasi kapasitas dalam orde yang sama (meskipun sedikit lebih tinggi), sedangkan metode Hiley berbasis data tumbukan juga menunjukkan kapasitas yang sebanding. Hal ini menegaskan bahwa pondasi tiang bor tersebut mampu mendukung beban rencana struktur jembatan dengan aman, karena kapasitas ijin tiang (dengan $FS \approx 2,5$) masih melebihi beban maksimum yang diperkirakan.

Kedua, dari segi kondisi tanah, ditemukan variabilitas profil tanah di area proyek. Titik abutment yang satu memiliki lapisan pasir lepas lebih tebal ($\sim 3-4$ m) dibanding titik lainnya (~ 2 m). Konsekuensinya, dalam perencanaan pondasi perlu dipertimbangkan faktor keamanan atau kedalaman tambahan pada lokasi dengan tanah lebih lunak. Meskipun demikian, kedalaman 12 m yang digunakan ternyata cukup untuk mencapai lapisan tanah padat di kedua titik, sehingga desain kedalaman tiang sudah tepat.

Ketiga, berdasarkan uji integritas (PIT), kedua tiang yang diuji menunjukkan integritas struktur yang baik. Nilai BTA sekitar 52–61% dan pola gelombang pantul mengindikasikan tidak adanya cacat mayor seperti retak besar atau leher (necking) pada tiang. Perubahan gelombang di bagian atas tiang diduga akibat interaksi dengan tanah (friksi tinggi) atau sedikit pembesaran diameter di kepala tiang, namun hal ini tidak mengganggu fungsi utama tiang. Refleksi gelombang dari ujung tiang terpantau jelas, yang berarti tiang tertanam utuh hingga kedalaman rencana tanpa kerusakan struktural.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa metode Meyerhof dan Hiley keduanya dapat digunakan untuk memprediksi daya dukung pondasi tiang bor dengan hasil yang cukup konsisten, terutama jika didukung oleh data uji dinamis di lapangan. Kombinasi analisis statis dan dinamis seperti dalam penelitian ini memberikan verifikasi yang kuat terhadap kapasitas pondasi. Pondasi bored pile pada Jembatan Moro'o dinyatakan memenuhi kriteria kuat dan stabil menahan beban jembatan, serta kualitas pelaksanaannya terjaga baik (tiang dalam keadaan utuh). Ke depan, disarankan agar studi serupa dilakukan dengan variasi diameter atau kedalaman tiang yang berbeda untuk memperkaya data hubungan dimensi pondasi dengan kapasitas dukungnya. Selain itu, penyusunan basis data hasil uji PDA dan PIT dari berbagai proyek akan sangat bermanfaat sebagai referensi dan acuan bagi perencana di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Yazid Farhan, and Budi Aribowo. 2024. "Analisis Potensi Bahaya Pada Proyek Renovasi Rumah Jatiwaringin Asri 2 Menggunakan Metode Hazard Identification and Risk Assessment And Determine Control (HIRADC)." *Talenta Conference Series: Energy and Engineering (EE)* 7(1):373–82. doi:10.32734/ee.v7i1.2210.
- Oemar, Fatmawati, Tri Rahmat Utama, and Panji Wijaksono. 2021. "ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI TIANG BORE PILE PADA PEMBANGUNAN PROYEK FLY OVER MARTADINATA KOTA TANGERANG." *JURNAL TEKNIK SIPIL-ARSITEKTUR* 20(1). doi:10.54564/jtsa.v20i1.69.
- Putra, M. Sang Gumilar Panca, Kiki Rizky Amalia, Nurul Aina Syahira, Norca Praditya, and Rio Marpen. 2024. "Analisa Perhitungan Daya Dukung Fondasi Minipile pada Rumah Trafo PT. Pertamina Plaju." *Jurnal Talenta Sipil* 7(1):224. doi:10.33087/talentasipil.v7i1.455.
- Ravli, Muhammad Vaikar, and Sri Sunarjo. 2024. "Pengujian Tiang Pondasi Menggunakan Pile Driving Analyzer (Studi Kasus Proyek Jalur Kereta Ganda Solo Balapan-Kadipiro)." *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* 204–8.
- Yonamastuti, Ervina, Mufti Astu Naufal, and Hinawan Teguh Santoso. 2022. "EVALUASI PEMERIKSAAN INTEGRITAS BETON PONDASI BORED PILE BERDASARKAN UJI PIT (PILE INTEGRITY TEST) DAN UJI CSL (CROSSHOLE SONIC LOGING)." *Jurnal Riset Rekayasa Sipil* 6(1):53. doi:10.20961/jrrs.v6i1.65109.