

Analisis Komparasi Daya Dukung Spun Pile dengan Manual, PDA Test dan Allpile

Comparative Analysis of Spun Pile Bearing Capacity with Manual, PDA Test and Allpile

Yonas Prima Arga Rumbyarso*¹

¹Universitas Krisnadwipayana, Kampus UNKRIS Jatiwaringin PO Box 7774/Jat.CM
yonasprima@unkris.ac.id

Format Kutipan: Rumbyarso, Y.P.A. (2024). Analisis Komparasi Daya Dukung Spun Pile dengan Manual, PDA Test dan Allpile. *Nusantara Journal of Science and Technology* (NU-JST), 1(2), hal. 1-10. <https://doi.org/10.69959/nujst.v1i2.67>

RIWAYAT ARTIKEL

Dikirim: 30 Oktober 2024
Revisi Akhir: 10 November 2024
Diterbitkan: 15 November 2024
Tersedia Daring Sejak: 15 November 2024

KATA KUNCI

Axial
Lateral
Manual

KEYWORDS

Axial
Lateral
Manual

ABSTRAK

Dalam perencanaan bangunan sangat penting untuk memperhatikan struktur pondasi seperti pada proyek Jalan Tol Akses Patimban yang berlokasi Patimban Jawa Barat. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan daya dukung lateral, aksial dan penurunan dari pondasi tiang *spun pile*. Metodologi penelitian ini menggunakan aplikasi ETABS untuk menghitung pembebanan. Untuk menghitung daya dukung pondasi menggunakan metode manual yaitu metode Mayerhof, Tomlinson, Reese & Wright dikomparasi dengan software Allpile dan hasil uji PDA test. Dalam analisis daya dukung pondasi spun pile dengan diameter 100 cm yang dihitung secara manual, diperoleh nilai daya dukung tiang tunggal (Q_u) sebesar 9501,238 kN, nilai daya dukung ijin tiang tunggal (Q_{all}) sebesar 3800,495 kN dan daya dukung ijin tiang kelompok 68549,05 kN. Daya dukung lateral pada pondasi menggunakan Metode Broms pada tiang tunggal ujung bebas sebesar 23,181 kN sedangkan tiang ujung jepit sebesar 45,216 kN. Analisis penurunan yang terjadi akibat beban aksial pada pondasi secara manual didapat nilai penurunan total 0,0232 m dengan batas nilai penurunan yang diijinkan yaitu 0,1 m. Analisis penurunan pondasi menggunakan hasil PDA Test diperoleh 0,02 m dan analisis penurunan pondasi menggunakan program Allpile sebesar yaitu 0,0687 m.

ABSTRACT

In building planning it is very important to pay attention to the foundation structure such as the Patimban Access Toll Road project located in Patimban, West Java. This study aims to compare the lateral, axial and settlement bearing capacity of spun pile foundations. This research methodology uses ETABS application to calculate the loading. To calculate the bearing capacity of the foundation using manual methods, namely the Mayerhof, Tomlinson, Reese & Wright method compared with Allpile software and PDA test results. In the analysis of the bearing capacity of the spun pile foundation with a diameter of 100 cm calculated manually, a single pile bearing capacity (Q_u) of 9501.238 kN was obtained, a single pile allowable bearing capacity (Q_{all}) of 3800.495 kN and a group pile allowable bearing capacity of 68549.05 kN. The lateral bearing capacity of the foundation using the Broms Method on a single free end pile is 23.181 kN while the pinned end pile is 45.216 kN. Analysis of the settlement that occurs due to axial load on the foundation manually obtained a total settlement value of 0.0232 m with the allowable settlement value limit of 0.1 m. The foundation settlement analysis using the PDA Test results obtained 0.02 m and the foundation settlement analysis using the Allpile program is 0.0687 m.

Artikel ini dapat diakses secara terbuka (*open access*) di bawah lisensi CC-BY-SA



PENDAHULUAN

Jalan Nasional Pantai Utara adalah sebuah arteri penting yang membentang sepanjang 1316 kilometer di lima provinsi di pesisir utara Pulau Jawa, yaitu Banten, Jakarta, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur. Mengikuti kontur pantai, jalan ini menghubungkan berbagai pusat ekonomi dan sosial. Pertumbuhan volume kendaraan yang pesat, khususnya di segmen Jawa Barat seperti ruas Patimban, berkolaborasi dengan frekuensi tinggi rekonstruksi jalan, menyebabkan tingkat kemacetan yang cukup tinggi. Mengingat posisi strategis daerah Patimban sebagai bagian dari koridor Pantai Utara, telah direncanakan pembangunan Jalan Tol Akses Patimban. Jalan tol ini, yang merupakan bagian dari 14 ruas tol dalam Proyek Strategis Nasional sesuai Peraturan Presiden Nomor 56 Tahun 2018, akan memiliki panjang 27 kilometer dan melibatkan konstruksi jembatan utama. Proyek Jalan Tol Akses Patimban mengaplikasikan fondasi spun pile yang

berdiameter 100 cm. Dalam pelaksanaan pekerjaan, perlu ada kalkulasi untuk menjamin kapasitas dukung yang memenuhi standar keselamatan, termasuk melakukan serangkaian uji coba. Studi ini bertujuan untuk melakukan perbandingan dan analisis terhadap kapasitas dukung serta penurunan fondasi dengan mengandalkan perhitungan manual, data dari uji PDA, serta aplikasi Allpile. Selain itu, dalam rangka memastikan integritas struktural pada proyek pembangunan Jalan Tol Akses Patimban, fondasi diuji menggunakan Uji PDA. Pemeriksaan kondisi tanah dilakukan melalui metode pemboran untuk mengukur kapasitas dukung tanah yang akurat serta pengambilan sampel tanah yang akan dianalisis lebih lanjut di laboratorium. Dalam rangka analisis kapasitas daya dukung dan penurunan fondasi untuk proyek Jalan Tol Akses Patimban, dilakukan penyelidikan tanah menggunakan metode Standart Penetration Test. Untuk mengkalkulasi beban yang akan ditanggung oleh proyek, digunakan perangkat lunak SAP2000 versi 14. Dalam kajian ini, beberapa metode perhitungan daya dukung fondasi diterapkan, termasuk Metode Mayerhof yang diperkenalkan pada tahun 1976, Metode Reese & Wright dari tahun 1977, serta Metode Tomlinson yang juga berasal dari tahun yang sama. Selain itu, kapasitas dukung fondasi juga dianalisis dan dibandingkan menggunakan aplikasi Allpile untuk mendapatkan perspektif yang lebih komprehensif.

METODE PENELITIAN

Tempat penelitian adalah Jalan Tol Akses Patimban, Patimban, Jawa Barat. Zona penelitian *elevated bridge/main road bridge*, panjang jembatan 1053 meter, lebar jembatan 25,6 meter dengan jalur lalu lintas 4/2 D lajur @3,6 meter, bahu dalam 1,5 meter dan bahu luar 3 meter. Struktur atas jembatan adalah PCU 1,85 meter Girder Bentang 44,5 meter, 34,5 meter, 36 meter. *Steel box girder* bentang 55 meter dan 71,5 meter. Struktur fondasi adalah pondasi concrete spun pile, diameter 1000 meter, kedalaman rata-rata 54 sampai dengan 65 meter. Tipe perkerasan adalah perkerasan flexible/lentur dengan AC-WC tebal 50 mm. Metode Meyerhoff (1976), metode ini mengambil dasar pada pola keruntuhan tanah mengasumsikan bahwa distribusi tegangan geser mencapai lapisan permukaan tanah. Kapasitas daya dukung akhir tiang dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Q_{ult} = Q_P + Q_S - W \dots\dots\dots (1)$$

Dengan : Q_{ult} = Daya dukung maksimum tiang tunggal (kN); Q_P = Daya dukung ujung tiang (kN); Q_S = Daya dukung selimut tiang (kN); W Berat sendiri tiang (kN).

$$Q_P = A_P \times f_P = A_P \times 9 \times C_U \dots\dots\dots (2)$$

$$C_U = 6 \times N \dots\dots\dots (3)$$

Dengan : Q_P = Daya dukung ujung tiang (kN); C_U = Kohesi tanah *undrained* (kN/m²); A_P = Luas penampang tiang (m²); N = Nilai N-SPT (kN).

$$Q_S = A_s + f_s = p \times L \times \alpha \times C_U \dots\dots\dots (4)$$

Dengan : Q_S = Daya dukung selimut tiang (kN); α = Faktor adhesi tergantung dari C_U ; p = Keliling tiang (m); L = Tebal lapisan tanah ke- i (m).

Tabel 1. Nilai faktor adhesi (α) terhadap C_u

C_u (kPa)	Faktor α
0	1
50	0,95
100	0,8
150	0,65
200	0,6
250	0,55
300	0,5

Tomlinson (1977), Metode Tomlinson merupakan teknik yang diterapkan dalam perencanaan fondasi pada tanah berlempung yang didasarkan pada pengukuran nilai kekuatan geser tanah yang tak terdrain (C_u). Angka (C_u) ini diperoleh melalui pengujian baik di laboratorium maupun lapangan. Seperti N-SPT atau sondir, dan juga dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah. Penentuan kapasitas daya dukung tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s \dots\dots\dots (5)$$

Dengan : Q_{ult} = Kapasitas daya dukung ultimit (kN); Q_b = Kapasitas daya dukung ujung tiang (kN); Q_s = Kapasitas daya dukung selimut (kN).

$$Q_b = N_c \times C_u \times A_P \dots\dots\dots (6)$$

Dengan : Q_b = Daya dukung ujung tiang (kN); N_c = Kapasitas daya dukung ujung tiang (diambil 9); A_P = Luas penampang tiang (m²); C_u = Kohesi tanah pada ujung tiang kohesi *undrained* (kN/m²).

Resse and Wright (1977), Dalam metode ini, gesekan diantara selimut tiang dapat dipengaruhi oleh jenis tanah tertentu dan parameter kuat geser tanah. Perhitungan ini dapat dirinci dalam persamaan (7).

$$Q_p = A_p \times f_p \dots\dots\dots (7)$$

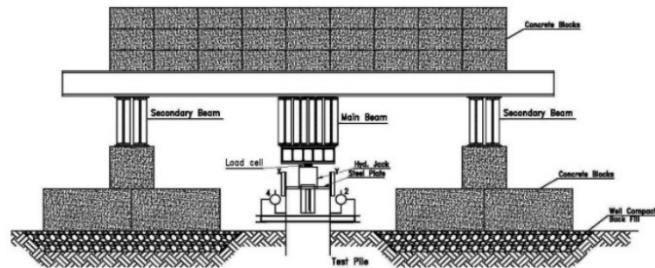
Dengan : Q_p = Daya dukung ujung tiang (kN); A_p = Luas penampang tiang (m²); f_p = Tahanan ujung per satuan luas (kN/m²).

Allpile, menggunakan program Allpile melibatkan proses permodelan fondasi tiang pancang dengan memasukkan data fondasi yang telah direncanakan serta data tanah yang telah dikumpulkan selama survei di lokasi. Ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan saat memasukkan informasi ke dalam perangkat lunak ini, seperti keadaan tanah, beban lateral, beban vertikal, dan tinggi muka air. *PDA Test, pile driving analyzer* adalah perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan untuk menguji dan menganalisis kinerja tiang pancang (pile) dalam konstruksi fondasi secara dinamis.

Proses pengumpulan data di Proyek Pembangunan Jalan Tol Akses Patimban bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang kemampuan daya dukung pondasi dan perubahan tingkat penurunan pondasi spun pile. Beberapa tahap yang digunakan dalam pengumpulan data untuk mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

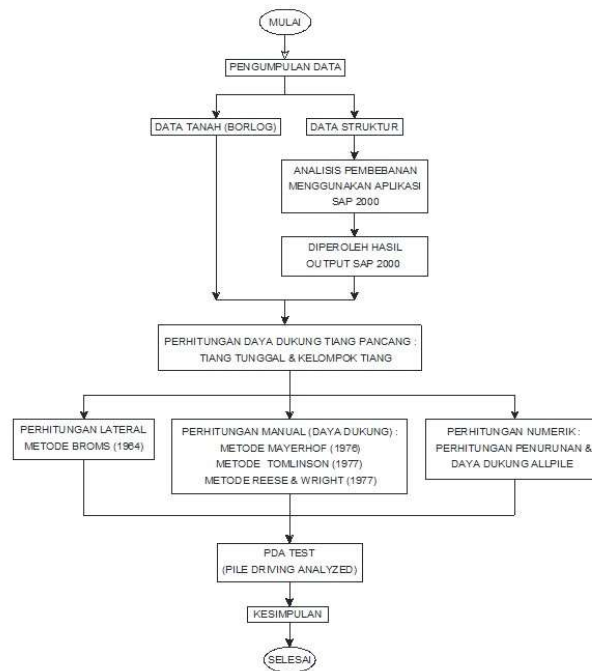
- 1) Menganalisis daya dukung pondasi dan perubahan tingkat penurunan pondasi dengan merujuk pada literatur ilmiah dalam bentuk jurnal;
- 2) Pengumpulan data sekunder dari pihak Kontraktor PT. Utama Karya :
 - Data gambar teknis;
 - Data penyelidikan tanah bor log dan data laboratorium;

- Data pengujian pondasi (PDA Test).
- 3) Melakukan analisis mengenai data-data yang diperoleh;
 - 4) Menghitung dan menganalisis permodelan dari aplikasi;
 - 5) Membuat kesimpulan dan saran setelah mendapatkan hasil dari perhitungan analisis yang digunakan.



Gambar 1. Detail Pengaturan Uji Beban Tiang Pancang Pra-Konstruksi Kompresi Aksial (Achmad, F. A., & Rumbyarso, Y. P. A., 2023)

Tahap analisis dan pembahasan pada bab ini adalah hasil analisis data yang diperoleh dari data sekunder pada proyek pembangunan Jalan Tol Akses Patimban, Patimban, Jawa Barat. Pada perencanaan pondasi proyek ini menggunakan pondasi tiang spun pile diameter 100 cm. Data yang tersedia akan digunakan untuk perhitungan perencanaan pondasi *driven pile*. Pada perhitungan daya dukung pondasi satu tiang (*single pile*) diambil dari data N-SPT dan data laboratorium dengan menggunakan metode Meyerhof (1976), metode Tomlison (1977), dan metode Reese & Wright (1977). Serta untuk perhitungan daya dukung pondasi kelompok (*group pile*) menggunakan metode Converse-Labarre. Sedangkan pada perhitungan penurunan menggunakan metode Vesie (1977) serta dilakukan perhitungan menggunakan software *Allpile* dan data PDA Test sebagai pembanding. Langkah awal yang dilakukan sebelum menghitung daya dukung dan penurunan pondasi adalah menghitung pembebanan dengan menggunakan SAP2000 yang bertujuan untuk mengetahui besarnya beban yang akan diterima pondasi, sesuai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan (SNI 2833:2016), dan tata cara pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016).

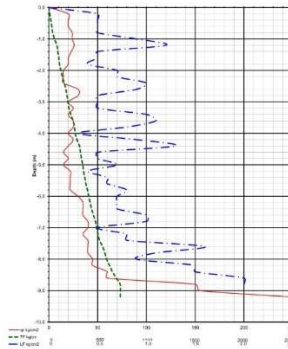


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil

Data sekunder tanah yang didapatkan pada Jalan Tol Akses Patimban berupa data N-SPT dan data hasil pengujian di laboratorium terlampir pada Gambar 2. Maka dari itu digunakanlah hasil data penyelidikan tanah P06 dan hasil laboratorium untuk analisis perencanaan pondasi dikarenakan hasil PDA test P06 yang diperoleh pada zona kerja elevated main road bridge proyek pembangunan Jalan Tol Akses Patimban.



Gambar 3. Hasil Uji Boring (N-SPT) P.06

Tabel 2. Hasil Laboratorium / Soil Layering Bor P.06

Layer	Depth (m)		Thickness (m)	N Average	Cu (kPa)	Φ (degree)	Description	Criteria
	to	from						
1	0.00	3.25	3.05	2	9	0	Silt	Very Soft
2	3.25	15.25	12.05	1.321	6.65	0	Clay	Very Soft
3	15.25	27.25	12.05	3.4	17.1	0	Clay	Soft
4	27.25	33.25	6.05	6.665	33.30	0	Clay	Stiff
5	33.25	47.25	14.05	17.123	85.69	0	Clay	Stiff
6	47.25	70.25	23.05	32.71	163.71	0	Clay	Very Stiff

Pondasi yang digunakan pada proyek Jalan Tol Akses Patimban adalah pondasi spun pile dengan diameter 105 cm dan kedalaman 54 m. Data sekunder dari struktur atas *elevated main road bridge* adalah sebagai berikut : PC U girder H = 1,80 m; mutu beton f_c 60 MPa; *reinforcing steel* f_y = 420 MPa; *concrete cover* = 40 mm. Detail *panel slab* dengan spesifikasi sebagai berikut : tebal = 70 mm; mutu beton f_c 24 MPa; *reinforcing steel* f_y = 420 MPa; *concrete cover* = 24 mm. Detail *slab* dengan spesifikasi sebagai berikut : tebal = 250 mm; mutu beton f_c 45 MPa; *reinforcing steel* f_y = 420 MPa; *concrete cover* = 40 mm.

Pembahasan

Analisis Struktur Atas Jembatan Dengan Software SAP2000

Beban permanen, menurut tata cara pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016) dan tata cara perencanaan ketahanan untuk jembatan (SNI 2833:2016). Beban permanen yang digunakan sebagai berikut :

- 1) Berat isi beton PC U Girder = 24 kN/m³.
- 2) Berat isi beton = 24 kN/m³.
- 3) Berat isi air = 9,8 kN/m³.
- 4) Berat isi aspal = 22 kN/m³.

Beban mati, beban sendiri pada program ETABS dihitung secara otomatis. Berikut adalah beban mati sendiri yang digunakan untuk pembebanan *elevated main road bridge* pada pembangunan Jalan Tol Akses Patimban :

- 1) Girder PC-U H 185

Berdasarkan data gambar, luas *section A* pada Archicad diperoleh : 1,863 m² dengan panjang *section A* = 1,5 m x 2 sisi = 3 m.

Berdasarkan data gambar, luas *section B* pada Archicad diperoleh : 2,535 m² dengan panjang *section B* = 1,15 m x 2 sisi = 2,3 m.

Berdasarkan data gambar, luas *section C* pada Archicad diperoleh : 1,774 m² dengan panjang *section C* = 2,35 m x 2 sisi = 4,7 m.

Berdasarkan perhitungan dan *property data*, luas *section D* diperoleh : 1,3092 m² dengan panjang *section D* = 22,4 m.

Maka diperoleh berat girder :

- *Section A* = 1,863 m² x 3 m x 24 kN/m³ = 134,136 kN
- *Section B* = 2,535 m² x 2,3 m x 24 kN/m³ = 139,932 kN
- *Section C* = 1,774 m² x 4,7 m x 24 kN/m³ = 200,107 kN
- *Section D* = 1,309 m² x 22,4 m x 24 kN/m³ = 9424,009 kN

Total girder *non-prismatic* = 1178,001 kN x 8 lajur = 9424,009 kN.

- 2) *Concrete barrier*

Beban total *concrete barrier* adalah : 0,513 m² x 32,4 m x 24 kN/m³ x 4 lajur = 1595,635 kN

- 3) *Slab*

Tebal *slab* P06-P07 = 0,24 m

Luas jalan P06-P07 = 12,7 m x 2 x 32,4 m = 822,96 m²

Beban *slab* = 0,24 m x 822,96 m² x 24 kN/m³ = 4976,64 kN

- 4) *Diaphragm*

Berdasarkan data gambar, luas *end diaphragm* pada Archicad diperoleh : 1279613,80 mm² = 1,28 m². Jumlah *end diaphragm* 12 buah.

Berdasarkan data gambar, luas *mid diaphragm* pada Archicad diperoleh : 1663500 mm² = 1,664 m². Jumlah *mid diaphragm* 30 buah.

Berdasarkan data gambar, luas *girder diaphragm* pada Archicad diperoleh : 887500 mm² = 0,888 m². Jumlah *girder diaphragm* 40 buah.

Beban mati tambahan, berikut merupakan beban mati tambahan yang berada pada *elevated main road bridge*, yaitu :

- 1) Panel Slab
Berikut merupakan jumlah rencana *panel slab* P06-P07 yang terdiri dari : S1 = 81 pcs; S2 = 72 pcs; S4 = 8 pcs dan S5 = 8 pcs.
Berat *panel slab* 1
 $P_{S1} = 1,2 \text{ m} \times 1,28 \text{ m} \times 0,07 \text{ m} \times 81 \text{ pcs} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 209,02 \text{ kN}$.
Berat *panel slab* 2
 $P_{S2} = 1,2 \text{ m} \times 1,06 \text{ m} \times 0,07 \text{ m} \times 72 \text{ pcs} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 153,86 \text{ kN}$.
Berat *panel slab* 4
 $P_{S4} = \left(\frac{0,76 \text{ m} + 0,962 \text{ m}}{2} \right) \text{ m} \times 1,35 \text{ m} \times 0,07 \text{ m} \times 8 \text{ pcs} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 15,63 \text{ kN}$.
Berat *panel slab* 5
 $P_{S5} = \left[(0,719 \text{ m} \times 1,06 \text{ m} \times 0,07 \text{ m}) + \left(\frac{0,962 \text{ m} + 1,06 \text{ m}}{2} \right) \right] \text{ m} \times 8 \text{ pcs} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 19,51 \text{ kN}$.
Berat total *panel slab* $\Sigma P_s = 398,03 \text{ kN}$
Beban *panel slab* $= \frac{\text{berat panel slab}}{\text{luas jalan}} = \frac{398,03 \text{ kN}}{(12,7 \times 32,4) \text{ m}^2} = 0,96 \text{ kN/m}^2$.
- 2) Aspal
Aspal 1 lapis (tebal 5 cm = 0,05 m) + Overlay 1x (tebal 5 cm = 0,05 m),
Tebal aspal : $t_{asp} = 0,1 \text{ m}$
Berat jenis aspal : $\gamma_{asp} = 22 \text{ kN/m}^3$
Beban aspal : $q_{asp} = 0,1 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 = 2,2 \text{ kN/m}^2$
- 3) Genangan Air
Tebal genangan air : $t_{asp} = 0,1 \text{ m}$
Berat jenis air : $\gamma_{asp} = 10 \text{ kN/m}^3$
Beban genangan air : $q_{asp} = 0,1 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 2,2 \text{ kN/m}^2$
Beban hidup (LL)
- 1) Beban lajur "D"
a) Beban terbagi rata
 $q = 9 \times (0,5 + 15/32,4 \text{ m}) \text{ kPa}$
 $q = 8,6 \text{ kPa} = 8,6 \text{ kN/m}^2$
b) Beban terbagi pusat
 $P = 49 \text{ kN/m}$
- 2) Penerapan beban hidup kendaraan
a) Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD) 30%, beban truk :
Gandar depan = $50 \text{ kN} \times 1,3 = 65 \text{ kN}$
Gandar belakang dan tengah = $224 \text{ kN} \times 1,3 = 292,5 \text{ kN}$
b) Atau pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis beban terbagi pusat dikalikan faktor beban dinamis 40%, bentang jembatan 32,4 m, maka :
Beban BGT = $49 \text{ kN/m} \times 1,4 = 68,6 \text{ kN/m}$
- 3) Beban pejalan kaki, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.
- 4) Gaya rem, yang bekerja pada satu balok, jarak antar girder : $S = 3 \text{ m} = 75,4 \text{ kN} \times 3 \text{ m} / 3,6 \text{ m} = 62,953 \text{ kN}$.
Lengan terhadap titik berat balok, $y_{TB} = 1,8 \text{ m} = Y_{tb} + t_{asp} + Y_{ak} = 1,9 + 0,1 + 0,86 = 2,76 \text{ m}$
Beban momen akibat gaya rem $M_{TB} = 2,76 \text{ m} \times 62,953 \text{ kN} = 175,65 \text{ kN.m}$

Analisis Struktur Bawah Jembatan / Pondasi Dengan Metode Manual

Adapun data pondasi spun pile adalah sebagai berikut :

- Diameter luar (D_1) = 1 m
- Diameter dalam (D_2) = 0,72 m
- Luas tiang (A) = $(1/4 \times \pi \times D_1) - (1/4 \times \pi \times D_2) = (1/4 \times \pi \times 3,14 \times 1^2) - (1/4 \times \pi \times 3,14 \times 0,72^2) = 0,3781 \text{ m}^2$
- Berat struktur atas (P) = 54810,418 kN
- Kedalaman tiang (L) = 55 m
- Berat jenis beton (B_j) = 24 kN/m³
- Berat tiang (W) = $A \times B_j \times L = 0,3784 \times 24 \times 55 = 499,498 \text{ kN}$

Daya dukung ultimit dan ijin pondasi tunggal metode Meyerhof (1976)

- a) Daya dukung ujung tiang (Q_p) :
Luas penampang ujung tiang (A_p)
 $A_p = 1/4 \times \pi \times D^2 = 1/4 \times \pi \times 3,14 \times 1^2 = 0,785 \text{ m}^2$
Tahanan ujung bawah tiang (f_p)
 $C_U = 6 \times \text{N-SPT} = 6 \times 30,5 = 183 \text{ kN/m}^2$
 $f_p = 9 \times C_U = 9 \times 183 = 1647 \text{ kN/m}^2$
- b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)
 $A_s = \pi \times D \times L = 3,14 \times 1 \times 55 = 172,7 \text{ m}^2$
Tahanan gesek tiang (f_s)
 $C_U = 6 \times \text{N-SPT (rata-rata)} = 6 \times 8,88 = 53,3 \text{ kN/m}^2$

Tabel 3. Nilai faktor adhesi (α) terhadap C_u

C_u (kPa)	Faktor (α)
0	1
50	0,95
100	0,8
150	0,65
200	0,6
250	0,55
300	0,5

Sumber : Hardiyatmo, 2014.

$$f_s = \alpha \times C_u = 0,95 \times 53,3 = 50,626 \text{ kN/m}^2$$

c) Daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_{ult})

$$Q_{ult} = A_p \times f_p + A_s \times f_s - W = 0,785 \times 1647 + 172,7 \times 50,626 - 499,034 = 9537 \text{ kN}$$

d) Daya dukung ijin tiang tunggal ($Q_{allowable}$)

$$Q_{allowable} = Q_{ult}/SF, \text{ dengan } safety \text{ factor} = 2,5 \\ = 9537 / 2,5 = 3814,8 \text{ kN.}$$

Daya dukung ultimit dan ijin pondasi tunggal metode Tomlinson (1977)

a) Daya dukung ujung tiang (Q_p) :

Luas penampang ujung tiang (A_p)

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2 = 1/4 \times \pi \times 3,14 \times 1^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Tahanan ujung bawah tiang (f_p)

$$C_u = 6 \times N\text{-SPT} = 6 \times 30,5 = 183 \text{ kN/m}^2$$

$$f_p = 9 \times C_u = 9 \times 183 = 1647 \text{ kN/m}^2$$

b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$A_s = \pi \times D \times L = 3,14 \times 1 \times 55 = 172,7 \text{ m}^2$$

Tahanan gesek tiang (f_s)

$$C_u = 6 \times N\text{-SPT (rata-rata)} = 6 \times 8,01 = 48,05 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 4. Nilai faktor adhesi (α) terhadap C_u

C_u (kPa)	Faktor (α)
0	1
50	0,95
100	0,8
150	0,65
200	0,6
250	0,55
300	0,5

Sumber : Hardiyatmo, 2014.

$$f_s = \alpha \times C_u = 0,95 \times 48,05 = 48,05 \text{ kN/m}^2$$

c) Daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_{ult})

$$Q_{ult} = A_p \times f_p + A_s \times f_s - W = 0,785 \times 1647 + 172,7 \times 48,05 - 499,034 = 9091,33 \text{ kN}$$

d) Daya dukung ijin tiang tunggal ($Q_{allowable}$)

$$Q_{allowable} = Q_{ult}/SF, \text{ dengan } safety \text{ factor} = 2,5 \\ = 9091,33 / 2,5 = 3636, \text{ kN.}$$

Daya dukung ultimit dan ijin pondasi tunggal metode Reese and Wright (1977)

a) Daya dukung ujung tiang (Q_p) :

Luas penampang ujung tiang (A_p)

$$A_p = 1/4 \times \pi \times D^2 = 1/4 \times \pi \times 3,14 \times 1^2 = 0,785 \text{ m}^2$$

Tahanan ujung bawah tiang (f_p)

$$C_u = 6 \times N\text{-SPT} = 6 \times 30,5 = 183 \text{ kN/m}^2$$

$$f_p = 9 \times C_u = 9 \times 183 = 1647 \text{ kN/m}^2$$

b) Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$A_s = \pi \times D \times L = 3,14 \times 1 \times 55 = 172,7 \text{ m}^2$$

Tahanan gesek tiang (f_s)

$$C_u = 6 \times N\text{-SPT (rata-rata)} = 6 \times 8,01 = 48,05 \text{ kN/m}^2$$

Tabel 5. Nilai faktor adhesi (α)

Jenis tiang pancang	adhesi (α)
Tiang pancang	0,75
Bor pile	0,55

Sumber : Reese & Wright, 1977.

$$f_s = \alpha \times C_u = 0,75 \times 48,05 = 36,04 \text{ kN/m}^2$$

c) Daya dukung ultimit tiang tunggal (Q_{ult})

$$Q_{ult} = A_p \times f_p + A_s \times f_s - W = 0,785 \times 1647 + 172,7 \times 48,046 - 499,034 = 8840,896 \text{ kN}$$

- d) Daya dukung ijin tiang tunggal ($Q_{allowable}$)
 $Q_{allowable} = Q_{ult}/SF$, dengan *safety factor* = 2,5
 = 8840,896 / 2,5 = 3536,358 kN.

Rekapitulasi Hasil Perhitungan

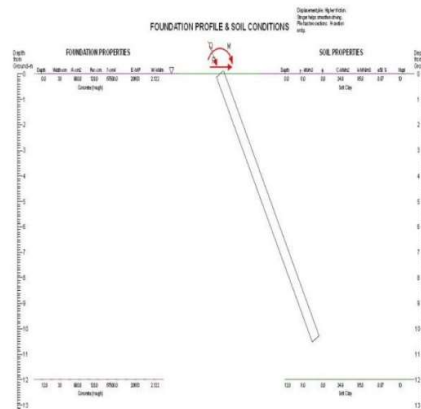
Setelah menghitung daya dukung aksial tanah pondasi dengan perhitungan berdasarkan metode Meyerhof, metode Tomlinson, dan metode Reese and Wright. Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan dan perbandingan yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai faktor adhesi (α)

	Metode Meyerhof (kN)	Metode Tomlinson (kN)	Metode Reese & Wright (kN)
Q_{ult}	9501,238	9030,003	8840,896
Q_{all}	3800,495	3612,001	3536,358
Rata-rata Q_{ult}		9124,046	
Rata-rata Q_{all}		3649,618	

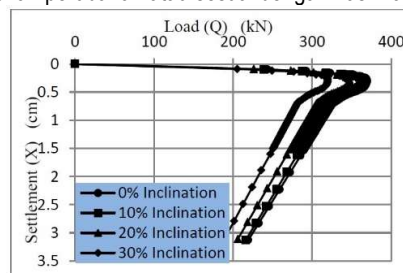
Analisis Struktur Bawah Jembatan / Pondasi Dengan Allpile

Analisis pondasi spun pile menggunakan software allpile bertujuan untuk memperoleh daya dukung tiang pancang tunggal spun pile dan penurunan tiang pancang spun pile.



Gambar 4. Tampilan Soil Properties Pada Aplikasi Allpile

Pada tab ini parameter tanah dimasukkan (Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G., 2023) dari hasil penyelidikan tanah yaitu borlog (N-SPT) dan hasil uji laboratorium. Diinputkan yaitu nilai G (berat jenis tanah) (Melanira, A., & Rudianto, A. M., 2023), phi (sudut geser dalam) (Darmiyanti, L., 2024), c (kohesi) (Arief, R. B., et al, 2014), k (koefisien pegas) dan e (angka pori) (Anggrahini, N. Z., & Fitriyana, L., 2022).. Khusus nilai M KN/m3 dan nilai e50 tidak dilakukan perubahan atau sesuai dengan hasil kalkulasi dari aplikasi.

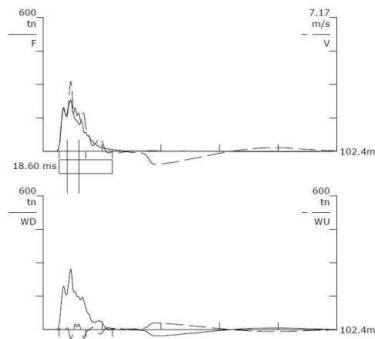


Gambar 5. Tampilan Output Pada Tab Soil Properties

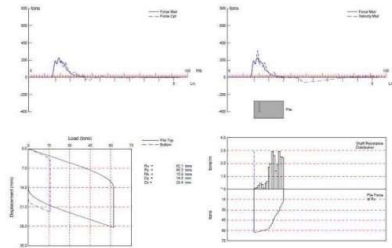
Kemudian dilakukan analisis gaya vertikal, didapatkan juga output nilai daya dukung total, daya dukung selimut dan nilai penurunan dalam bentuk grafik (Kusumo, B., 2023).

Analisis Tiang Spun Pile Dengan PDA Test

Analisis hasil PDA Test (*Pile Driving Analyzer*) merupakan pengujian tiang pancang secara dinamis dengan memukulkan hammer. Output PDA Test antara lain yaitu hasil transfer beban pada tuang, daya dukung maksimum tiang, daya tekan dan tarik tiang, penurunan permanen tiang, penurunan maksimum tiang dan lain-lain.



Gambar 6. Pile Driving Analyzer



Gambar 7. Hasil CAPWAP

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Test PDA

Kode	Keterangan	Tiang : TSDP1A-P06-14
BN	Pukulan	17
RMX	Daya dukung tiang (ton)	1010
FMX	Gaya tekan maksimum (ton)	705
CTN	Gaya Tarik maksimum (ton)	0
EMX	Energi maksimum yang ditransfer (ton.m)	16,71
DMX	Penurunan maksimun (mm)	31
DFN	Penurunan permanen (mm)	3
STK	Tinggi jatuh palu (m)	0,0
BPM	Pukulan per menit	18,1
BTA	Nilai keutuhan tiang (%)	99
LE	Panjang tiang dibawah instrument (m)	54
LP	Panjang tiang tertanam (m)	54
AR	Luas penampang tiang (cm ²)	3869

Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pondasi Tiang

Perbandingan hasil perhitungan secara manual, penggunaan software Allpile dan PDA test pada daya dukung tiang tunggal dari kelompok beserta penurunan tiang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

a) Rekapitulasi perhitungan daya dukung ultimit tiang tunggal

Tabel 8. Perbandingan Hasil Daya Dukung Ultimit

P06014	Metode Meyerhof (kN)	Metode Tomlinson (kN)	Metode Reese & Wright (kN)	PDA Test (kN)	Allpile (kN)
Daya dukung ultimit tiang tunggal	9401,237	9029,002	8839,895	10109	5450,245
Daya dukung ijin tiang tunggal	3790,491	3522,001	3534,357	-	-

b) Rekapitulasi perhitungan daya dukung tiang kelompok

Tabel 9. Hasil Perbandingan

P06	Converse-labarre formula (kN)	Allpile (kN)
Daya dukung ultimit tiang kelompok	167808,54	146825,39
Daya dukung ijin tiang kelompok	68447,04	58713,95

c) Rekapitulasi perhitungan penurunan tiang tunggal

Tabel 10. Hasil Perbandingan Penurunan Tiang Tunggal

P06	Metode Vesic (1977) (mm)	Allpile (mm)	PDA Test (mm)
Penurunan tiang tunggal	2,3155	6,868	2

d) Rekapitulasi perhitungan penurunan tiang kelompok

Tabel 11. Hasil Perbandingan Penurunan Tiang Kelompok

P06	Converse-labarre formula (kN)	Allpile (kN)
Penurunan tiang kelompok	76,78	69,91

e) Rekapitulasi perhitungan lateral tiang tunggal berkelakuan tiang pancang

Tabel 12. Hasil Perbandingan Lateral Tiang Panjang Tunggal

P06-14	Broms (1964) (kN)	Grafik (kN)
Tiang ujung bebas (Free Head)	23,180	23,421
Tiang ujung jepit (Fixed Head)	45,215	49,701

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan daya dukung ultimit dengan metode manual, yaitu Metode Mayerhoff 9501,238 kN, Metode Tomlinson 9030,003 kN, Metode Reese & Wright 8840,896 kN, *software Allpile* 5260,265 dan PDA Test 10110 kN. Maka digunakanlah acuan perhitungan kecil untuk perhitungan selanjutnya. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung ijin kelompok tiang menggunakan Metode *converse-labarre formula* diperoleh 68549,05 kN dan *software Allpile* diperoleh 58914,96 kN. Sedangkan perhitungan beban struktur menggunakan aplikasi ETABS diperoleh 54801,418 kN. Maka perhitungan daya dukung ijin kelompok tiang lebih besar daripada beban struktur sehingga aman. Perhitungan penurunan yang terjadi pada tiang tunggal dengan menggunakan Metode Vesic (1977) dan *software Allpile* dan PDA test. Didapatkan pada PDA Test dengan nilai penurunan terkecil sebesar 2 mm = 0,002 m dan menggunakan *software Allpile* nilai penurunan terbesar yaitu 6,869 mm = 0,0068 m. Gaya lateral ultimit yang dapat ditahan oleh tiang tunggal *spun pile* sebagai tiang Panjang dengan ujung tiang bebas (*free head*) dengan metode manual yaitu 23,181 kN, sedangkan tiang panjang dengan ujung jepit (*fixed head*) menggunakan metode manual yaitu 45,216 kN. Terlihat bahwa tiang tunggal dengan ujung tiang bebas < tiang tunggal dengan ujung jepit. Sehingga dalam hal ini tiang tunggal ujung terjepit lebih aman digunakan untuk menahan gaya lateral ultimit yang dapat ditahan oleh tiang.

Saran

Untuk meningkatkan hasil optimal dalam perencanaan pondasi tiang pancang, disarankan agar melakukan beberapa langkah berikut: menggunakan aplikasi berlisensi untuk menghitung beban dan memodelkan seluruh struktur, dari atas hingga bawah; mengaplikasikan metode alternatif seperti Alpha, Poulos and Davis, dan Lambda untuk menganalisis kapasitas dukung tiang pancang guna mendapatkan estimasi yang lebih presisi; membandingkan hasil analisis kapasitas dukung dengan menggunakan perangkat lunak geoteknik lain yang berlisensi seperti Plaxis, Geostudio, GEO5, atau Soil Vision; serta melengkapi dokumen yang diperlukan untuk perencanaan pondasi, termasuk gambar teknis struktur, penelitian tanah, dan hasil uji laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F. A., & Rumbyarso, Y. P. A. (2023). Analisis Struktur Slab On Pile terhadap Kontrol Lendutan pada Proyek Jalan Tol Kataraja. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 13457-13467.
- Anggrahini, N. Z., & Fitriyana, L. (2022). Studi Kasus Perbaikan Tanah Lunak Pada Proyek Tol Semarang â€”Demak (STA 20+ 300 â€”STA 20+ 500). *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*, 1(1), 668-681.
- Arief, R. B., Rusbintardjo, G., & Yusoff, N. I. M. (2014). Landslide on a Deeply Landfilled Slope: A Case Study of Tembalang, Indonesia. *Jurnal Teknologi*, 70(1).
- AASHTO 1993, *Guide for Design Of Pavement Structures*. AASHTO, Washington, DC.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *Tata Cara Perencanaan Sistem Plumbing SNI 03-7065-2005*. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Darmiyanti, L., Prima, Y., & Aldianto, M. A. (2023). Analisis Borepile Menggunakan Metode Meyyerhoff dan Reese Wright. *Jurnal Sipil Krisna*, 9(1), 27-38.
- Darmiyanti, L. (2024). Perbaikan Potensi Pengembangan Tanah Ekspansif dengan Metode Elektrokinetik menggunakan Larutan Kalsium Dioksida. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 10-14.
- Kusumo, B. (2023). Rancang Bangun Pengendali Jarak Jauh Panel Listrik Rumah Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3 Menggunakan Smartphone Android dengan Komunikasi Bluetooth 3.0. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(02), 448-472. <https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.957>
- Melanira, A., & Rudianto, A. M. (2023). Identifikasi fungsi dan elemen fisik taman tegalega sebagai pemanfaatan ruang terbuka hijau di kota bandung. *Jurnal Ilmiah Arjouna: Architecture and Environment Journal of Krisnadwipayana*, 7(2).
- Pribadi, G., & Rumbyarso, Y. P. A. (2023). Analisis Perbandingan Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Bor Dengan Perhitungan Manual dan Software ALLPILE. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 5(2), 16-20.
- Rumbyarso, Y. P. A., & Pribadi, G. (2023). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Bishop pada Proyek Geotechnical Investigation Jalur Transportasi Pelabuhan Batubara Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(02), 562-577.