

ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TERHADAP HASIL PDA PADA PROYEK SPAM PEKANBARU–BANGKINANG

*Arifin¹, Muhamad Yusa², Gunawan Wibisono³
^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau
) Email: arifin8019@grad.unri.ac.id

Received: 13 November 2025 ; Revised: 14 November 2025 ; Accepted: 17 November 2025

ABSTRACT

The drinking water supply system (SPAM) is an infrastructure facility designed to provide clean and safe drinking water that complies with established health standards. In this project, the construction structures utilize pile and bored pile foundations, which serve as essential structural elements for supporting and transferring loads from the columns to the underlying hard soil layer. A properly designed foundation ensures the stability and durability of the entire structure. This study aims to analyze and determine the foundation bearing capacity using several analytical approaches, including the Meyerhof, Reese & Wright, and Luciano Decourt methods. Settlement analysis is also conducted using the Fellenius and Vesic methods. The research was carried out in Kampar Regency, Riau Province, Indonesia. The data used in this analysis consist of Standard Penetration Test (SPT) results and Pile Driving Analyzer (PDA) test data obtained from field observations. The results show that the bearing capacities obtained using the Meyerhof, Reese & Wright, Luciano Decourt, and PDA methods are 103 tons, 176 tons, 353 tons, and 204 tons, respectively. Meanwhile, the settlement values are 10.7 mm using the Fellenius method, 16.05 mm using the Vesic method, and 14.5 mm based on PDA measurements.

Keyword: bearing capacity, drink water supply system, pile foundation, settlement

ABSTRAK

Sistem penyediaan air minum (SPAM) merupakan fasilitas infrastruktur yang dirancang untuk menyediakan air minum yang bersih dan aman sesuai dengan standar kesehatan yang berlaku. Pada proyek ini, bangunan konstruksi menggunakan pondasi tiang pancang dan bored pile, yang berfungsi sebagai elemen struktural penting untuk menopang dan menyalurkan beban dari kolom ke lapisan tanah keras di bawahnya. Pondasi yang dirancang dengan tepat akan memastikan stabilitas dan daya tahan keseluruhan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan daya dukung pondasi dengan menggunakan beberapa pendekatan analitis, yaitu metode Meyerhof, Reese & Wright, dan Luciano Decourt. Analisis penurunan (settlement) juga dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius dan Vesic. Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, Indonesia. Data yang digunakan dalam analisis ini terdiri atas hasil Standard Penetration Test (SPT) dan hasil uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang diperoleh dari observasi lapangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya dukung pondasi yang diperoleh dari metode Meyerhof, Reese & Wright, Luciano Decourt, dan PDA masing-masing adalah 103 ton, 176 ton, 353 ton, dan 204 ton. Sementara itu, nilai penurunan yang dihasilkan adalah 10,7 mm berdasarkan metode Fellenius, 16,05 mm berdasarkan metode Vesic, dan 14,5 mm berdasarkan pengukuran PDA.

Kata kunci: daya dukung, sistem penyediaan air minum, pondasi tiang, penurunan

1. PENDAHULUAN

Upaya untuk meningkatkan ketersediaan air bersih yang memenuhi standar kesehatan telah mendorong Pemerintah Provinsi Riau untuk membangun satu unit Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Pekanbaru–Kampar yang mampu memproduksi 1.000 liter air per detik untuk melayani sekitar 102.000 sambungan rumah. Proyek ini berlokasi di Desa Kualu, Kecamatan Tambang, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Bangunan utama dalam proyek tersebut menggunakan fondasi berupa tiang pancang dan bored pile. Fondasi merupakan bagian penting dari struktur bangunan bawah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas ke lapisan tanah keras [1].

Fondasi tiang pancang (*pile foundation*) berperan menerima serta menyalurkan beban ke lapisan tanah penunjang di kedalaman tertentu [2]. Berdasarkan mekanisme penyaluran bebannya, terdapat dua tipe utama yaitu *end bearing pile* dan *friction pile*. Pada *end bearing pile* sebagian besar daya dukung berasal dari perlawanan tanah keras di ujung tiang, sehingga beban struktur dipindahkan langsung ke lapisan keras [3]. Sementara itu pada *friction pile*, daya dukung terutama dihasilkan oleh gesekan antara permukaan tiang dan tanah di sekitarnya sehingga kemampuan fondasi dalam menahan beban sangat bergantung pada gaya gesek tersebut [4].

Daya dukung tanah sendiri didefinisikan sebagai kemampuan tanah dalam mendukung beban pondasi dari struktur yang berada di atasnya [5]. Perancangan yang kurang tepat dapat menyebabkan tekanan berlebihan pada lapisan tanah bawah yang berpotensi menimbulkan penurunan (*settlement*) besar. Dalam perancangan fondasi dikenal dua parameter penting, yaitu daya dukung izin (*allowable bearing capacity*) dan daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*). Daya dukung izin menunjukkan intensitas beban maksimum yang dapat ditanggung tanpa menimbulkan

penurunan berlebih, sedangkan daya dukung ultimit adalah beban maksimum yang dapat ditahan tanah sebelum terjadi kegagalan geser.

Berbagai metode analitis telah dikembangkan untuk memperkirakan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang di antaranya metode Meyerhoff (1976), Reese & Wright (1977), dan Luciano Decourt (1996) untuk analisis daya dukung serta metode Fellenius (1999) dan Vesic (1977) untuk analisis penurunan. Di sisi lain, evaluasi lapangan dapat dilakukan menggunakan uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang mampu memberikan gambaran langsung mengenai perilaku dinamis tiang terhadap beban aktual.

Namun demikian, belum banyak penelitian yang membandingkan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan menggunakan metode analitis dengan hasil uji PDA secara langsung pada proyek SPAM di wilayah Riau. Kondisi tanah di daerah ini memiliki karakteristik geoteknik yang khas sehingga hasil perbandingan antara analisis teoritis dan data lapangan menjadi penting untuk menilai keandalan perencanaan fondasi.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan dan membandingkan daya dukung serta penurunan fondasi tiang pancang menggunakan beberapa metode analitis (Meyerhoff, Reese & Wright, Luciano Decourt, Fellenius, dan Vesic) dengan hasil uji PDA di lapangan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap validasi perencanaan fondasi tiang pancang pada proyek infrastruktur penyediaan air minum di wilayah Riau serta menjadi referensi bagi perencanaan fondasi pada proyek sejenis di masa mendatang.

2. METODE

Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis. Tahap pertama adalah identifikasi masalah, yang dilakukan untuk menentukan isu utama terkait analisis daya dukung dan penurunan fondasi pada proyek sistem penyediaan air minum. Tahap berikutnya adalah studi literatur, yang bertujuan mengkaji teori-teori, standar, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan analisis fondasi, baik dari aspek daya dukung maupun penurunan. Setelah itu, dilakukan pengumpulan data, yang meliputi data Standard Penetration Test (SPT) dan hasil uji Pile Driving Analyzer (PDA) yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan.

Tahap selanjutnya adalah analisis daya dukung fondasi yang dilakukan menggunakan beberapa metode empiris, yaitu metode Meyerhof, Reese & Wright, dan Luciano Decourt. Setiap metode digunakan untuk memperoleh nilai daya dukung ultimit dan menentukan estimasi variasi hasil berdasarkan pendekatan teoritis masing-masing. Pada tahap terakhir, dilakukan analisis penurunan fondasi dengan menerapkan metode Fellenius (1999) dan Vesic (1986) untuk menghitung besar penurunan yang mungkin terjadi berdasarkan data tanah dan karakteristik tiang. Keseluruhan tahapan tersebut dilakukan untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai performa fondasi tiang pada lokasi penelitian.

Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan terhadap daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang yang dipakai pada bangunan proyek SPAM Pekanbaru – Bangkinang tersebut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Titik Pengujian investigasi tanah

Sebelum dilakukan analisis terhadap perhitungan fondasi, dilakukan pengumpulan data-data yang pendukung dari penelitian ini. Daya yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari instansi terkait yang berkaitan dengan penelitian ini. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Data penyelidikan tanah yaitu data pengujian SPT (*Standard Penetration Test*)
Pengujian SPT ini menghasilkan data data jenis tanah tiap lapisan tanah dan jumlah nilai NSPT dari tumbukan *hammer*. Data yang akan digunakan dalam perhitungan daya dukung dan penurunan tiang pancang diambil dari hasil uji SPT terdekat dengan lokasi Uji *Pile Driving Analyzer* yaitu berada pada BH 3. Nilai-nilai NSPT tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai-nilai NSPT pada BH 3

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah
2	2	lempung very soft
4	2	lempung very soft
6	6	pasir loose
8	14	pasir medium
10	17	pasir medium
12	44	pasir dense
14	50	pasir dense
16	52	pasir dense
18	18	pasir medium
20	38	lempung hard
22	16	lempung very stiff
24	17	lempung very stiff
26	14	lempung stiff
28	32	lempung hard
30	60	lempung hard

Sumber: PT PP (Persero), 2023

- b. Data hasil uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)
Uji PDA merupakan suatu metode pengujian secara dinamik untuk mengukur kapasitas ultimate aksial tekan tiang, penurunan akhir, keutuhan tiang, dan energi yang berasal dari tumbukan *hammer* yang dilakukan pada pondasi dalam [6]. Pengujian PDA juga dapat membantu dalam merencanakan serta memastikan apakah pondasi tersebut optimal untuk digunakan sebagai struktur yang kuat dan aman untuk beban struktur di atasnya. PDA Test bertujuan untuk mengetahui daya dukung aksial tiang, keutuhan / integritas tiang dan efisiensi energi yang ditransfer. Berdasarkan pengujian lapangan uji PDA terdapat di lokasi BH 3 dengan hasil uji PDA seperti dibawah ini.

Tabel 2. Data Tiang dan *Hammer*

Data Tiang dan <i>Hammer</i>	
Nomor tiang	GSF-P259
Tanggal uji	06/11/21
Jenis	Spunpile
Diameter tiang(mm)	400
Total panjang tiang(m)	16
Panjang tiang tertanam(m)	15
Jenis <i>hammer</i>	<i>Drop hammer</i>
Berat <i>hammer</i> (ton)	3,5
HASIL CAPWAP	
Daya dukung tiang(ton)	204.0
Tahanan gesek(ton)	189.5
Tahanan ujung(ton)	14.5
Penurunan(mm)	14.5

Sumber: PT PP(Persero), 2023

Analisis Data

Analisis data ini menggunakan beberapa rumus-rumus persamaan untuk menghitung daya dukung maupun penurunan. Daya dukung menggunakan persamaan meyerhoff, reese & wright dan luciano decourt seperti dalam pemaparan dibawah ini.

- a. Meyerhoff (1976)
Daya dukung ujung tiang untuk tanah non kohesif yaitu:

$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \quad (1)$$

Dimana: N_b = Nilai SPT rata-rata pada elevasi fondasi, N_1 = Nilai SPT 4D dari ujung tiang kebawah tiang, N_2 = Nilai SPT 8D dari ujung tiang keatas tiang, A_p = Luas Penampang Tiang (m^2)

Daya dukung selimut tiang padah tanah non kohesif

$$Q_s = 0.2 \times NSPT \times A_s \quad (2)$$

Dimana: N_{spt} = nilai spt rata-rata sepanjang tiang, A_s = Luas Selimut Tiang (m^2)

Sementara pada tanah kohesif daya dukung ujung tiang yaitu:

$$Q_p = \alpha \times C_u \times P \times L_i \quad (3)$$

Dimana: α = Faktor adhesi Reese & Wright (1977) menyarankan faktor adhesi = 0.55, C_u = Kohesi tanah (ton/m^2), P = Keliling tiang (m), L_i = Tebal lapisan tanah (m)

Daya dukung selimut tiang untuk tanah kohesif:

$$Q_s = 9 \times C_u \times A_p \quad (4)$$

$$C_u = NSPT \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (5)$$

Dimana: C_u = *Undrained shear strength* atau kohesi (kN), A_p = Luas Penampang Tiang (m^2)

Daya dukung ultimit merupakan hasil total daya dukung ujung tiang dan selimut tiang

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (6)$$

Dimana: Q_p = daya dukung ujung tiang(ton), Q_s = daya dukung selimut tiang(ton)

b. Reese & Wright (1977)

Metode reese & wright dalam menentukan daya dukung sama halnya seperti pada metode sebelumnya dengan menghitung daya dukung ujung tiang dan selimut tiang. daya dukung ujung tiang dalam metode reese & wright dapat dilihat dibawah ini.

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (7)$$

Dimana: q_p = tahanan ujung tiang (ton/m^2), A_p = luas penampang tiang (m^2)

Menentukan tahanan ujung (q_p) pada tanah kohesif adalah

$$q_p = 9 \times C_u \quad (8)$$

$$C_u = \text{Undrained shear strength atau kohesi (ton/m}^2\text{)}$$

$$= \frac{2}{3} \times N_{spt}$$

Sementara tahanan ujung (q_p) pada tanah non kohesif reese & wright (1977) mengajukan hubungan antara korelasi q_p dan NSPT.

$$\text{Dimana: } NSPT < 60 \text{ maka } q_p = \frac{2}{3} \times \frac{1}{0.3048^2} \times NSPT \times A_p \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

$$NSPT > 60 \text{ maka } q_p = \frac{40}{0.3048^2} \times A_p \text{ (ton/m}^2\text{)}$$

Daya dukung selimut tiang adalah.

$$Q_s = f_s \times L \times P \quad (9)$$

nilai f_s pada tanah kohesif

$$f_s = \alpha \times C_u \quad (10)$$

Dimana: α = faktor adhesi, reese & wright (1977) menyarankan faktor adhesi (α) = 0.55, C_u = kohesi tanah (ton/m^2), L = tebal lapisan (m^2), P = keliling penampang tiang (m^2)

nilai f_s pada tanah non kohesif
untuk $N < 53$ maka $f_s = 0.32 N_{spt}$

Daya dukung ultimit :

$$Q_{ult} = Q_p + Q_s \quad (11)$$

Dimana : Q_p = daya dukung ujung tiang(ton), Q_s = daya dukung selimut tiang(ton)

c. Luciano Decourt (1999)

Metode ini dapat digunakan pada semua jenis tanah. Besarnya daya dukung tiang ultimit (Q_u) dapat ditinjau dari Persamaan berikut.

$$Q_u = [\alpha \times (N_p \times K) \times A_p] + [\beta \times (\frac{N_s}{3} + 1) \times A_p] \quad (12)$$

Dimana: Q_u = Daya dukung ultimit tiang, A_p = Luas ujung penampang tiang, N_p = Nilai rata-rata dari SPT mulai 4D di bawah ujung tiang hingga 4D di atas ujung tiang, K = Koefisien tanah yang tergantung pada jenis tanah, α = Koefisien dasar tiang, β = Koefisien selimut tiang, A_p = Luas selimut tiang, N_s = Nilai SPT rata-rata pada lapisan tanah sepanjang tiang yang ditinjau.

Pada metode Luciano Decourt nilai koefisien tanah dibutuhkan dimana nilai koefisien ini tergantung dari jenis tanah yang digunakan. Nilai-nilai koefisien tanah yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Nilai Koefisien K Jenis Tanah (Decourt.L, 1996)

Jenis Tanah	Nilai Koefisien (t/m ²)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir	40

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Nilai-nilai koefisien α atau dasar tiang yang digunakan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Nilai-nilai koefisien α (Decourt.L, 1996)

Soil	Driven Pile	Bored Pile	Bored pile (bentonite pile)	Continou hallow auger	Root pile	Inject Piles (hight pressure)
Clay	1	0.8	0.85	0.3	0.85	1
Intermedia to soil	1	0.6	0.6	0.3	0.6	1
Sand	1	0.5	0.5	0.3	0.5	1

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Koefisien β atau selimut tiang yang digunakan dalam persamaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Nilai-nilai koefisien β

Soil	Driven Pile	Bored Pile	Bored pile (bentonite pile)	Continou hallow auger	Root pile	Inject Piles (hight pressure)
Clay	1	0.8	0.85	0.3	0.85	1
Intermedia to soil	1	0.6	0.6	0.3	0.6	1
Sand	1	0.5	0.5	0.3	0.5	1

Sumber: Afriyanto A, (2023)

Sementara dalam perhitungan penurunan fondasi menggunakan persamaan fellenius dan vesic dengan referensi beban dari Qult yang paling mendekati uji PDA seperti dibawah ini.

a. Fellenius

Penurunan metode fellenius didasarkan pada hubungan beban dan penurunan[7]. Hubungan beban dan penurunan akibat tahanan unit ujung tiang

$$\frac{(q'_t)_m}{q'_t} = \left(\frac{\delta}{\delta_u}\right)^g \quad (13)$$

Hubungan beban dan penurunan akibat hambatan lekat.

$$\frac{(f_s)_m}{f_s} = \left(\frac{\delta}{\delta_u}\right)^h \leq 1 \quad (14)$$

Tekanan elastik fondasi tiang:

$$\delta_e = \frac{PZ_c}{AE} \quad (15)$$

Dimana: q'_t = perlawanan ujung, $(q'_t)_m$ = mobilisasi perlawanan ujung, f_s = tahanan selimut, $(f_s)_m$ = mobilisasi tahanan selimut, $g = 0.5$ (lempung) – 1 (pasir) $h = 0.02 - 0.5$, e = penurunan elastik akibat tekanan fondasi, P = beban dibawah setiap fondasi, Z_c = kedalaman ke pusat tahanan tanah (0,75D), A = luas penampang fondasi, E = modulus elastisitas fondasi.

b. Vesic

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (16)$$

Penurunan akibat deformasi axial tiang tunggal

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \quad (17)$$

Penurunan dari ujung tiang

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot qp} \quad (18)$$

Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang

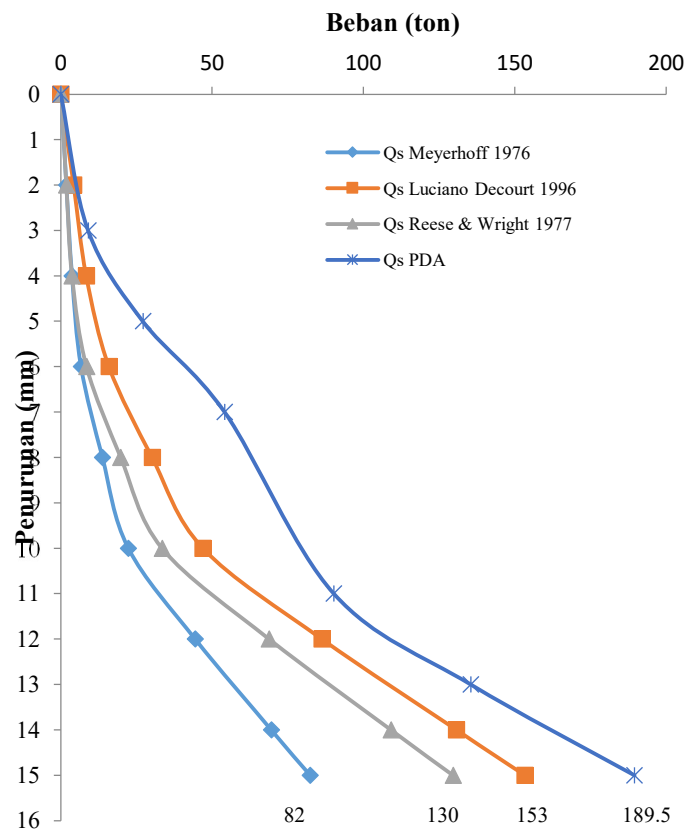
$$S_{ps} = \left(\frac{Q_p}{P \cdot L} \right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (19)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

Analisis Daya Dukung Selimut Tiang

Daya dukung selimut tiang, juga dikenal sebagai *skin friction*, adalah kemampuan tiang pancang untuk menahan beban struktural melalui perlawanan gesekan yang terjadi antara permukaan tiang dengan tanah di sekitarnya. Dalam penelitian ini hasil daya dukung selimut tiang dapat dilihat pada grafik berikut.



Sumber : Data Penelitian (2025)

Gambar 19. Grafik Daya Dukung Selimut Tiang

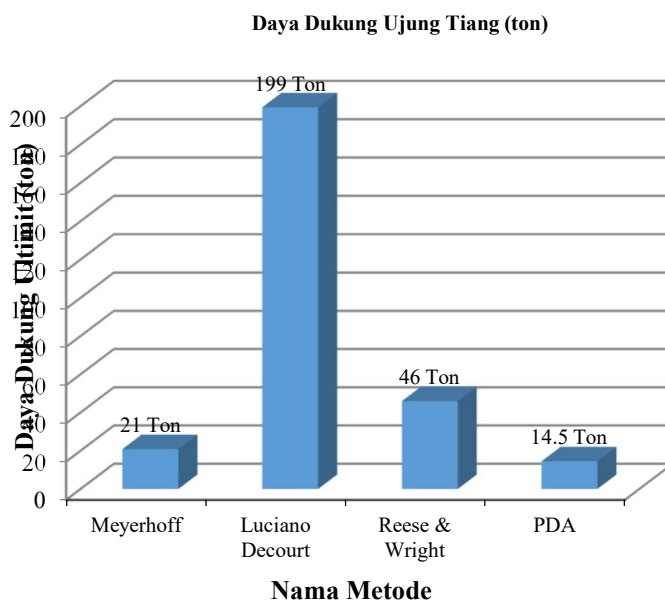
Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa daya dukung selimut tiang pada kedalaman diujung tiang atau kedalaman 15 m metode Luciano Decourt memiliki hasil paling mendekati hasil PDA dengan Qs Luciano Decourt sebesar 158 ton dan Qs PDA 189.5 ton kemudian diikuti Qs Reese & Wright 130 ton, Qs Elemen Hingga dan Qs meyerhoff 82 ton.

Daya dukung selimut tiang dalam metode Meyerhoff 1976 terjadi peningkatan seiring penambahan kedalaman, semakin dalam pondasi tiang maka daya dukung selimut semakin besar. Hasil daya dukung selimut yang dihasilkan dalam metode reese & wright memperlihatkan pada kedalaman 0 sampai 5 m cenderung meningkat secara bertahap namun pada kedalaman 6 sampai 10 m meningkat lebih tinggi dan selanjutnya meningkat drastis dari kedalaman 10 sampai 15 m. peningkatan signifikan dikedalaman 10 m dipengaruhi jenis tanah pasir dari medium pada kedalaman 6 sampai 10 m dan pasir *dense* kedalaman 10 sampai 15 m ditandai nilai NSPT yang meningkat. Metode luciano decourt juga menunjukkan hasil yang serupa dimana daya dukung selimut juga bertambah dengan bertambahnya kedalaman, namun pada kedalaman 15 m hasil metode luciano decourt lebih besar dari elemen hingga dimana hasil daya dukung selimut metode luciano decourt lebih mendekati dengan hasil PDA diantara metode lainnya. Penelitian serupa juga dihasilkan yang menunjukkan daya dukung selimut tiang terus meningkat seiring bertambahnya kedalaman dari 0 sampai 30 m dan semakin padat tanah nilai NSPT juga meningkat sehingga daya dukung selimut juga bertambah [8].

Beban yang dipikul fondasi mengalami distribusi beban-beban dari konstruksi di atasnya yang dapat dilakukan dengan menggunakan gesekan antara tiang dan tanah maupun dengan tahanan ujung dari tiang tersebut [9]. Distribusi beban pada selimut tiang yang dihasilkan metode meyerhoff sebesar 80 % sehingga pada metode ini 80 % dari beban ditahan oleh selimut tiang, sementara dalam metode reese and wright distribusi beban selimut tiang sebesar 74 % sehingga dalam metode ini beban yang ditahan dominan ditahan oleh selimut tiang, namun pada metode luciano decourt memiliki perbedaan jauh dari metode meyerhoff dan reese and wright yaitu beban yang ditahan oleh selimut tiang sebesar 60 % sehingga pada metode ini beban yang ditahan hanya 60 % pada selimut tiang. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan [10],[11] yang menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman dan densitas tanah berpengaruh signifikan terhadap peningkatan daya dukung selimut tiang. Namun, perbedaan kecil terhadap hasil uji PDA juga ditemukan dalam penelitian [12], [13], yang mengaitkan variasi tersebut dengan heterogenitas lapisan tanah dan kesalahan interpretasi nilai energi pada uji PDA.

Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung pada tiang pancang adalah kemampuan ujung tiang untuk menahan beban yang diberikan oleh bangunan atau struktur di atasnya. Daya dukung ujung ini sangat dipengaruhi oleh sifat tanah di bawah ujung tiang, misalnya kekuatan dan jenis tanah. Dalam penelitian ini hasil daya dukung ujung tiang disajikan pada nilai ujung tiang yaitu pada kedalaman 15 m dapat dilihat pada grafik berikut:



Sumber : Data Penelitian (2025)

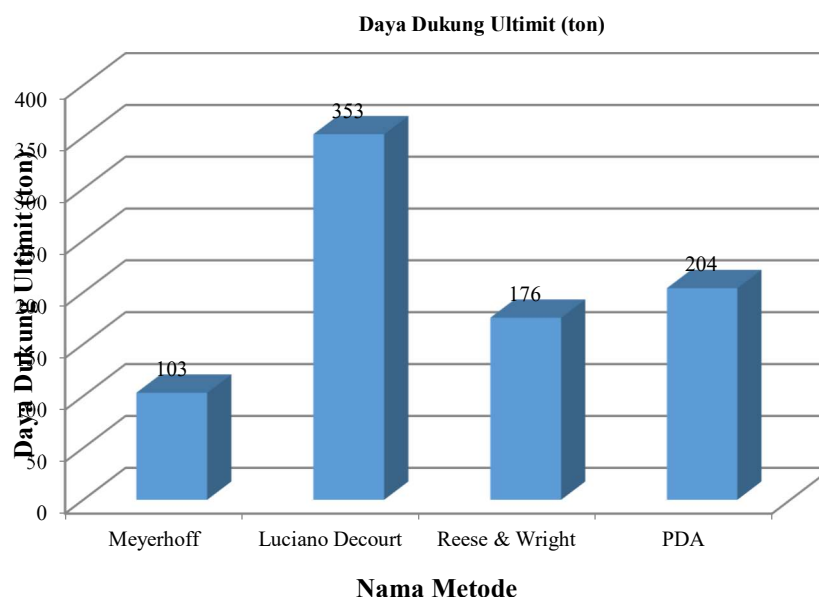
Gambar 20 Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ujung tiang dalam metode Meyerhoff (1976) sebesar 21 ton, Luciano Decourt 199 ton, Reese & Wright 46 ton dan PDA 14,5 ton. Besar daya dukung ujung tiang dari semua metode tersebut dapat dilihat bahwa metode luciano decourt memiliki nilai yang lebih besar dari yang lain sebesar 199 ton. Distribusi beban pada ujung tiang dalam metode meyerhoff sebesar 20 % sehingga pada metode ini dominan beban ditahan oleh selimut tiang tetapi juga ditahan oleh ujung tiang yakni 20 %, sementara dalam metode luciano decourt distribusi beban pada ujung tiang sebesar 57 % sehingga dalam metode ini beban yang ditahan sedikit didominasi oleh ujung tiang, pada

metode reese & wright distribusi beban yang ditahan pada ujung tiang decourt sebesar 26% dan dari semua metode dalam metode meyerhoff memiliki nilai distribusi beban yang lebih kecil dan mendekati hasil uji PDA yaitu 7 % PDA dan meyerhoff 20%. Berdasarkan pemaparan distribusi beban maka pada pondasi tiang pancang cenderung lebih banyak dipikul oleh tahanan selimut tiang, hal ini dapat dilihat distribusi beban maupun daya dukung selimut tiang cenderung lebih besar dan distribusi beban lebih didominasi pada daya dukung selimut tiang. Hal serupa juga diperlihatkan oleh penelitian sebelumnya pada tiang pancang dengan metode meyerhoff dan reese & wright di tanah dominan kohesif menghasilkan dengan metode meyerhoff distribusi beban pada selimut tiang 60% dan ujung tiang 40 % sementara metode reese & wright distribusi beban selimut tiang 94% dan ujung tiang 6 % [12]. Nilai daya dukung ujung yang tinggi pada metode Luciano Decourt juga pernah dilaporkan dalam penelitian [14], [15] mana metode berbasis nilai rata-rata NSPT 4D menghasilkan estimasi berlebih pada tanah pasir padat. Kondisi serupa terjadi dalam studi [16] yang menegaskan bahwa pemilihan pendekatan empiris harus mempertimbangkan kondisi geoteknik lokal agar hasil tidak bias terhadap parameter N-SPT yang ekstrem. Hasil serupa juga dilaporkan oleh [17] yang menemukan bahwa diameter tiang dan variasi densitas tanah memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan kapasitas ujung tiang, sementara metode berbasis korelasi NSPT perlu disesuaikan dengan kondisi tanah lokal agar hasilnya tidak berlebih.

Analisis Daya Dukung Ultimit

Daya dukung ultimit tiang adalah kemampuan maksimal tiang untuk menahan beban sebelum terjadi kegagalan struktural atau penurunan yang berlebihan. Daya dukung ultimit ini terdiri dari dua komponen utama: tahanan ujung (Q_b) dan tahanan gesek (Q_s), daya dukung ultimit dihasilkan dari penjumlahan daya dukung selimut dan daya dukung ujung tiang [13]. Daya dukung yang disajikan berikut merupakan daya dukung ultimit yang terjadi pada kedalaman tiang maksimum yaitu kedalaman 15 m.



Sumber : Data Penelitian (2025)

Gambar 21. Daya Dukung Ultimit

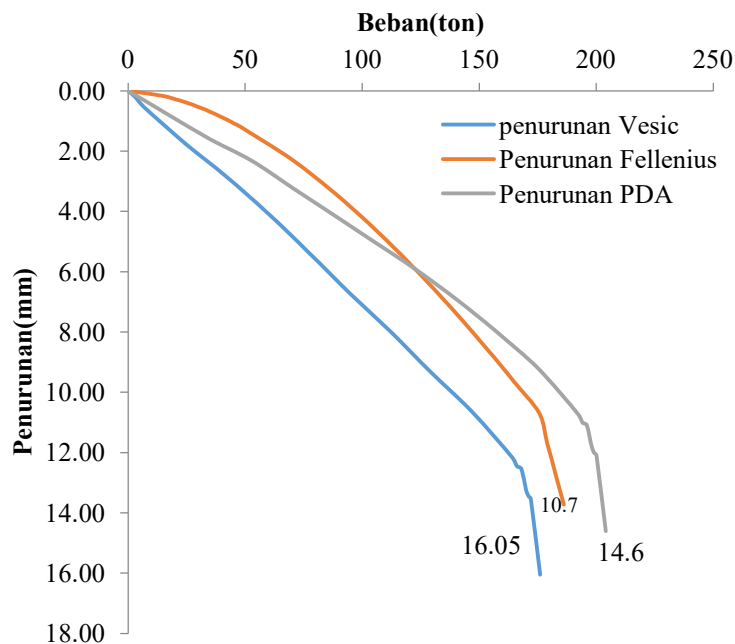
Daya dukung ultimit metode analisis menggunakan 3 persamaan dihitung sepanjang kedalaman tiang yaitu 15 m dalam hasil perhitungan seperti pada gambar diatas dapat dilihat bahwa apabila dibandingkan dengan hasil uji lapangan berupa uji *pile driving analyzer* (PDA) hasil perhitungan metode reese & wright merupakan metode yang paling mendekati dengan uji PDA sebesar 176 ton dan hasil uji PDA 204 ton, kemudian daya dukung ultimit terendah terdapat dalam metode meyerhoff.

Metode luciano decourt terlihat lebih besar dari uji PDA yaitu luciano decourt 353 ton sementara PDA 204 ton, hal ini disebabkan nilai daya dukung ujung tiang yang besar dalam metode luciano decourt ini disebabkan dalam perhitungan daya dukung ujung menggunakan nilai N_p (rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang) yang besar. Penelitian sebelumnya menggunakan nilai N_p atau rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang [8]. Namun, dalam penelitian lainnya nilai N_p digunakan nilai N rata-rata sepanjang tiang tertanam [18], sehingga nilai N_p lebih rendah dari rata-rata NSPT 4D diatas tiang dan 4D dibawah tiang. Pemaparan daya dukung ujung tiang dalam metode luciano decourt menemukan kelemahan pada penggunaan nilai N_p yang kurang cocok

pada nilai-nilai NSPT yang besar dan saling berdekatan sehingga dapat menghasilkan nilai N_p yang besar lalu akan membuat jumlah daya dukung ujung tiang tersebut juga tinggi. Temuan bahwa metode Reese & Wright paling mendekati hasil uji PDA konsisten dengan penelitian [19], [20] yang menyatakan bahwa korelasi antara parameter gesekan tanah dengan kapasitas ultimit lebih realistis dibandingkan metode lain. Selain itu, studi terbaru oleh [21] juga menekankan pentingnya mempertimbangkan perilaku reologi tanah pada pendekatan perhitungan kapasitas ultimit agar hasil lebih akurat terhadap kondisi aktual lapangan. Selain itu, penelitian terbaru oleh [22] menunjukkan bahwa validasi hasil metode empiris dengan data lapangan seperti PDA memberikan tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan metode teoritis murni, terutama pada proyek dengan variasi kondisi tanah yang signifikan di lapangan tropis.

Analisis Penurunan Tiang

Perhitungan ini digunakan nilai daya dukung ultimit metode analisis yang paling mendekati hasil uji PDA yaitu dari metode reese & wright (1977) sebesar 176 Ton. Hasil beban dan penurunan dari fellenius dan vesic yang dibandingkan dengan PDA dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Sumber: Data Penelitian 2025

Gambar 22. Beban vs Penurunan

Hubungan beban-penurunan pada grafik diatas memperlihatkan respon terhadap beban yang bertahap. Semakin besar beban yang bekerja penurunan juga semakin besar, metode fellenius memperlihatkan zona elastis terjadi pada beban yang bekerja sampai 120 ton, fase transisi zona elastis ke plastis terjadi pada garis yang mulai melengkung yaitu dari beban 120 sampai 155 ton, sementara beban dari 160 Ton keatas merupakan zona yang mulai mendekati kapasitas dukung ultimit dan memasuki zona keruntuhan. Kapasitas dukung ultimit dapat dilihat dari garis potongan berada pada beban 176 Ton dimana beban itu terjadi penurunan sebesar 10.7 mm atau 1.07 cm. Sehingga penurunan dalam metode hubungan beban-penurunan oleh fellenius, (1999) sebesar 10.7 mm atau 1.07 cm. Sementara dalam metode vesic penurunan sebesar 16.05 mm atau 1.605 cm. Kedua metode analisis tersebut memiliki hasil penurunan yang tidak jauh berbeda dengan hasil uji PDA. Perbedaan hasil antara metode Fellenius, Vesic, dan uji PDA menunjukkan adanya variasi elastisitas tanah terhadap beban vertikal. Penelitian [23] dan [24] menunjukkan bahwa metode analitik cenderung memberikan hasil konservatif dibandingkan pendekatan numerik dan data lapangan. Selain itu, hasil ini mendukung pandangan bahwa metode empiris perlu dikombinasikan dengan analisis numerik atau model kecerdasan buatan untuk meningkatkan akurasi prediksi penurunan [10], [16]. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian [25] yang menunjukkan bahwa kombinasi antara hasil PDA dan model elemen hingga mampu menghasilkan prediksi penurunan tiang dengan deviasi kurang dari 10% terhadap hasil lapangan aktual.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan-temuan internasional bahwa uji PDA dapat menjadi alat verifikasi efektif untuk memvalidasi hasil perhitungan empiris daya dukung dan penurunan tiang pancang [10], [12], [21]. Dengan demikian, penerapan pendekatan kombinasi antara metode analitik dan uji lapangan direkomendasikan untuk meningkatkan keandalan desain fondasi pada proyek infrastruktur besar di Indonesia.

Hasil penelitian ini juga relevan dengan temuan [26] yang menekankan pentingnya pengujian dinamis seperti PDA dalam memastikan keandalan desain fondasi di wilayah tropis dengan kondisi tanah jenuh air, seperti Riau. Penerapan pendekatan ini terbukti meningkatkan efisiensi desain hingga 15% dibandingkan metode statis konvensional.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perbandingan antara perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode teoritis dan hasil uji *Pile Driving Analyzer* (PDA) pada proyek SPAM Kabupaten Kampar, diperoleh beberapa kesimpulan penting. Nilai daya dukung selimut tiang (Q_s) dari metode Meyerhoff, Reese & Wright, dan Luciano Decourt menunjukkan pola kurva yang relatif serupa, namun dengan hasil yang lebih rendah dibandingkan uji PDA. Pada kedalaman ujung tiang, diperoleh nilai Meyerhoff sebesar 82 ton, Reese & Wright 130 ton, dan Luciano Decourt 153 ton, sedangkan hasil uji PDA mencapai 189,5 ton. Metode Luciano Decourt menghasilkan nilai paling mendekati hasil pengujian di lapangan. Untuk daya dukung ujung tiang (Q_p), metode Meyerhoff memberikan hasil sebesar 21 ton, Reese & Wright 46 ton, dan Luciano Decourt 199 ton, semuanya lebih tinggi daripada hasil PDA sebesar 14,5 ton. Sementara itu, untuk daya dukung ultimit (Q_{ult}), metode Meyerhoff menghasilkan 103 ton, Reese & Wright 176 ton, dan Luciano Decourt 353 ton, dengan metode Reese & Wright paling mendekati hasil uji PDA sebesar 204 ton. Nilai daya dukung yang tinggi pada metode Luciano Decourt disebabkan oleh penggunaan nilai rata-rata NSPT (N_p) empat kali diameter di atas dan di bawah ujung tiang, yang pada kondisi tanah dengan nilai NSPT besar dan berdekatan dapat menghasilkan nilai daya dukung ujung yang berlebihan. Hal ini menunjukkan bahwa metode Luciano Decourt kurang sesuai untuk tanah dengan kepadatan tinggi atau variasi NSPT yang kecil. Dari analisis penurunan (*settlement*), metode Fellenius memberikan hasil penurunan yang lebih rendah (10,7 mm) dibandingkan PDA (14,5 mm), sedangkan metode Vesic memberikan hasil yang lebih besar (16,05 mm). Hasil ini menunjukkan bahwa metode Fellenius bersifat lebih konservatif, sedangkan Vesic lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa metode Reese & Wright memberikan hasil perhitungan daya dukung paling mendekati hasil uji PDA, sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan fondasi tiang pancang pada kondisi geoteknik serupa. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan ilmu geoteknik, khususnya dalam validasi metode perhitungan daya dukung tiang, serta memiliki manfaat praktis untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi desain fondasi pada proyek infrastruktur penyediaan air minum di wilayah Riau dan daerah lain dengan karakteristik tanah sejenis. Selain itu, perbedaan hasil uji PDA yang cukup signifikan dibandingkan metode teoritis juga sejalan dengan temuan berbagai penelitian lain yang menunjukkan bahwa kapasitas tiang hasil pengujian dinamis biasanya lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan analitis akibat pengaruh redaman tanah, kehilangan energi hammer, dan variasi densitas tanah lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. J. Lopian, F. J. Manoppo, J. H. Ticoh, P. Studi, T. Sipil, and U. S. Ratulangi, "Studi Perbandingan Desain Fondasi Rakit Dengan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi," vol. 20, pp. 1179–1187, 2022.
- [2] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Edisi 5. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [3] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi I*, Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [4] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [5] Hardiyatmo, *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*, Ed 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- [6] D. Haryadi, W. A. Prakoso, D. Teknik, S. Fakultas, and T. Universitas, "Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas Metode Dinamis (Pda Test) Pada Pondasi Tiang Pancang," 2017.
- [7] B. H. Fellenius, "Basics of Foundation Design, Electronic Edition," *www.Fellenius.net*, 2025.
- [8] K. Fahmi, "Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Dengan Metode Mayerhoff, Luciano Decourt, Reese And Wright, Dan Elemen Hingga (Plaxis)," Universitas Islam Sultan Agung, 2022.
- [9] M. N. Danipra Setiyo, Suhendra, "Analisa Daya Dukung Tanah untuk Pondasi Tiang Pancang pada Rencana Pembangunan Komplek Pendidikan Islam Al Azhar 57 Jambi," *J. Civronlit Unbari*, vol. 4, no. 2, pp. 80–92, 2019, doi: 10.33087/civronlit.v4i2.54.
- [10] H. Moayed, M. Mosallanezhad, and R. Nazir, "Evaluation Of Maintained Load Test (Mlt) And Pile Driving Analyzer (PDA)," *SOIL Mech.*, vol. 54, no. 3, pp. 9–13, 2017, doi: 10.1007/s11204-017-9449-1.
- [11] J. Kaupien and S. Higher, "Research Of Bearing Capacity Of Pile Pressed Foundations Methodology For

- Calculating The Bearing Capacity Of The Pile,” vol. 111, no. 5, pp. 111–116, 2024.
- [12] A. Prativi, P. Dewi, N. Sutra, and W. T. Adi, “A Comparison of Individual Bored Pile Bearing Capacity Using the Results of Standard Penetration Test (SPT) and Pile Driving Analysis (PDA) Test of the Railway Bridge Foundation,” vol. 1, no. 2, pp. 14–23, 2022.
 - [13] C. S. Rozeli, “Analysis Of The Carrying Capacity Of The Pile Foundation Compared To Jacking System & Pile Driving Analyzer (PDA) Test (Case Study of Building Construction Projects in the District of,” *IJTI (International J. Transp. Infrastructure)*, vol. 03, no. 02, 2020.
 - [14] A. A. Ningsih, A. A. Setiawan, U. P. Jaya, and U. P. Jaya, “Comparison of Elastic Settlement of Pile Foundations Using Analytical Methods and Finite Element Methods,” *J. Komposit J. Ilmu-ilmu Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 145–149, 2023, doi: 10.32832/komposit.v7i2.13757.
 - [15] T. Sebastian and D. Akbar, “Analysis of Foundation Bearing Capacity Using Reese & Wright (1977) and Skempton (1966) Methods,” vol. 22, no. 2, pp. 47–55, 2023.
 - [16] A. Nurjanah, F. Teknik, and U. M. Mataram, “Analysis Of Bearing Capacity Of Pile Foundations Using Analytical,” *Eduvest – J. Univers. Stud. Vol.*, vol. 4, no. 05, 2024.
 - [17] A. S. Hafshejani, A. Hajiannia, S. Pousti, and A. G. Noroozi, “Effect of length to diameter ratio (L/D) of pile on bearing capacity of piles buried in the silty sand under homogeneous hydrocarbon contamination conditions,” *Int. J. Sci. Eng. Res.*, no. January, pp. 7–10, 2016.
 - [18] A. Afriyanto, *Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
 - [19] R. Wulansari and S. Anwar, “Comparison of Pile Bearing Capacity Based on Standard Penetration Test,” *J. GREEN Sci. Technol.*, vol. II, no. 1, 2018.
 - [20] D. Yogaswara and R. Riyantini, “Analisis Pengendalian Mutu Fondasi Tiang Bor Berdasarkan Uji PDA dan Uji PIT,” *J. Tek. Sipil*, vol. 21, no. 1, pp. 32–47, 2025, doi: 10.28932/jts.v21i1.7345.
 - [21] A. Z. Ter-martirosyan, L. Y. Ermoshina, and G. O. Anzhelo, “Settlement of a Pile Foundation Considering Linear and Rheological Properties of Soils,” *uildings*, 2024.
 - [22] L. Zhang, “Reliability Assessment of Pile-Founded T-Walls Considering Soil Spatial Variability in the Face of Flooding Hazards,” no. August, 2025, doi: 10.1061/9780784485163.046.
 - [23] H. Maizir, “Artificial Neural Network Model for Prediction of Bearing Capacity of Driven Pile,” vol. 22, no. 1, pp. 49–56, 2015.
 - [24] F. S. Raihanah Naura Jinan, Rena Misliniyati, Khairul Amri, Muharram Nur Fikri, “Analysis Of The Effect Of Cross-Sectional On The Bearing Capacity And Settlement Of Pile Foundation For The Scada Building,” *J. Pensil Pendidik. Tek. Sipil*, vol. 14, pp. 595–612, 2025, doi: 10.21009/jpensil.v14i3.59178.
 - [25] Y. Wang, G. Lu, E. Zhang, C. Zhao, W. Wang, and F. Dong, “The Bearing Capacity Model of Pile Foundation with Hole-Drilling and Pile-Inserting Technology in Complex Geological Environments,” 2025.
 - [26] A. Honarjoo and V. Ghiasi, “Analyzing analytical and software methods for deep foundation analysis and presenting a new solution for determining pile capacity using the PDA test,” *Int. J. Geo-Engineering*, 2025.