

Evaluasi Back Analysis Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Hasil Loading Test dan Pile Driving Analyzer

Marcho Ibrahim^{1*}, Idrus Alatas^{2*}, Syahril Taufik^{3*}

¹Alumni Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jl. Moch Kahfi II, Jakarta 12640, Indonesia

^{2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik
Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jl. Moch Kahfi II, Jakarta 12640, Indonesia

*Email: ¹marcho_mrc@yahoo.com, ²idrussmalatas@istn.ac.id, ³syahril_taufik@istn.ac.id

Abstrak

Pemancangan tiang dalam beberapa kasus mencapai tanah keras harus melalui lapisan tanah lempung terlebih dahulu sehingga dalam menghitung daya dukung, tiang pancang mengalami proses friction sebelum mencapai tanah keras, maka dalam menghitung daya dukung ultimit digunakan analisis berdasarkan tahanan ujung (*end bearing*) maupun perlekatan tanah (*friction*). Metode perhitungan daya dukung tiang dapat digunakan dengan metode Reese-Wright, Mayerhoff, atau Janbu. Dalam merencanakan suatu pondasi tiang, menentukan daya dukung rencana yang harus dicapai oleh setiap tiang dalam menopang beban di atasnya. Pengujian tiang pondasi diperlukan sebagai quality insurance bahwa daya dukung tiang pondasi di lapangan memenuhi daya dukung yang direncanakan, dengan uji beban skala penuh Static Loading Test (SLT) dan metode dinamik Pile Driving Analyzer (PDA). Hasil faktor koreksi (friksi dan *end bearing*) dari estimasi daya dukung pondasi, melalui analisa balik (*back analysis*) hasil pengujian beban di lapangan, yaitu Loading Test dan Pile Driving Analyzer didapatkan untuk tiang pancang beton prestressed sebesar 12,5% - 17,5% dan untuk bored pile adalah sebesar 17,5% - 22,5% yang perlu ditambahkan pada prosentasi komponen tahanan friksi. Evaluasi faktor koreksi terhadap rumus daya dukung dengan menggunakan komposisi friksi dan end bearing pada data aktual PDA dengan komposisi antar tiang pancang dan bored pile tidak berbeda secara signifikan. Untuk friksi pada tiang pancang cukup dominan, sedangkan pada bored pile dengan kedalaman lebih dari dua kali lipat didapatkan end bearing sangat dominan dibandingkan tahanan friksi.

Kata Kunci: Axial Loading Test, Pile Driving Analyzer, Data Tanah, Friksi, End Bearing

Abstract

Pile erection in some cases reaches hard soil must go through a layer of clay soil first so that in calculating the carrying capacity, piles undergo a friction process before reaching hard soil, then in calculating the ultimate carrying capacity an analysis based on end bearing skin friction is used. The method of calculating the carrying capacity of the mast can be used with the Reese-Wright, Mayerhoff, or Janbu method. In designing a pile foundation, determine the carrying capacity of the plan that must be achieved by each pole in supporting the load on it. Foundation pile testing is needed as quality insurance that the bearing capacity of foundation piles in the field meets the planned carrying capacity, with a full-scale load test Static Loading Test (SLT) and the dynamic method of Pile Driving Analyzer (PDA). The results of correction factors (friction and end bearing) from the estimated bearing capacity of the foundation, through back analysis of the results of load testing in the field, namely Loading Test and Pile Driving Analyzer obtained for prestressed concrete piles by 12.5% - 17.5%. and for bored pile is 17.5% - 22.5% which needs to be added to the percentage of friction resistance components. Evaluation of the correction factor against the carrying capacity formula using friction composition and end bearing on the actual PDA data with the composition between piles and bored piles was not significantly different. For friction on piles is very dominant, while in bored piles with more than twice the depth, end bearings are very dominant compared to friction resistance.

Keywords: Axial Loading Test, Pile Driving Analyzer, Soil Properties, Soil Data Analysis, Friction, End Bearing

1. Pendahuluan

Ada banyak cara untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang. Setiap metode memiliki karakteristik dan kesesuaian tergantung pada kendala dan parameter digunakan. Namun, sebagian besar metode yang digunakan untuk hasil dari aplikasi atau penelitian di negara lain yang tanahnya pola mungkin tidak sama dengan yang ada di Indonesia (Apriyanto, 2017). Metode Decourt memiliki korelasi yang tinggi dengan hasil PDA dengan rasio 1,34, sedangkan pada penelitian keseimbangan untuk metode L. Decourt di Surabaya Barat adalah 0,51 dan di bagian utara Surabaya adalah 1,45 (Zakahfi dan Kusumawardani, 2018). Jumlah pile yang dianalisis adalah lebih bervariasi di seluruh ukuran penampang dan panjang tumpukan dan kondisi tanah yang berbeda.

Haryadi dan Prakoso (2023), menentukan penyebab perbedaan dalam kapasitas kompresi aksial antara hasil data yang dipantau oleh peralatan HSPD dan verifikasi uji dinamis. Pile SQ25 dan SQ30 masing-masing berjumlah 295 dan 94, dilakukan tes verifikasi dinamis menunjukkan bahwa dengan hasil dari SQ25 sebesar 11%, dan SQ30 7% bermasalah. Berdasarkan analisis regresi linier, kedalaman tiang pancang (L_p), penurunan akhir (DFN), dan resistansi gesekan (R_s) berkontribusi pada perbedaan nilai verifikasi dinamis. Untuk pile SQ25 dan SQ30 yang bermasalah dan tumpukan, nilai \bar{L}_p dan R_s/L_p kurang dari pile yang tidak bermasalah. Nilai *final settlement* untuk pile grup bermasalah lebih besar dari pile yang tidak bermasalah.

Dalam merencanakan suatu pondasi, perencana terlebih dahulu menentukan daya dukung rencana yang harus dicapai oleh setiap tiang dalam menopang beban di atasnya. Pengujian tiang pondasi diperlukan sebagai jaminan bahwa daya dukung tiang pondasi di lapangan memenuhi daya dukung yang direncanakan. Coduto (1994) membagi 3 (tiga) metode untuk menghitung daya dukung aksial pondasi tiang yaitu: a) uji beban skala penuh atau sering disebut *Static Loading Test (SLT)*; b) metode statik (menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah klasik); c) metode dinamik atau sering disebut *Pile Driving Analyzer (PDA)*.

Putri (2017) menganalisis mengenai perbandingan hasil pengujian daya dukung pondasi tiang pancang dari interpretasi pengujian PDA Test dengan perhitungan berdasarkan hasil SPT. Selain itu Aldino (2019) juga meninjau mengenai perbedaan kuat dukung tiang tunggal antara data kalendering, data SPT, dan data PDA Test. Penelitian dari Sagita, Fahriani, & Apriyanti. (2020) yang menganalisis mengenai perbandingan daya dukung tiang pancang dari data hasil uji SPT dan hasil uji beban di lapangan yaitu hasil uji kalendering dan PDA Test.

Menurut tinjauan penyaluran beban pondasi tiang pancang dibagi menjadi beberapa macam yaitu (Sardjono, 1990): a. Point daya dukung ujung tiang pancang dengan tahanan ujung (*end bearing*). Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras. Tiang semacam ini dimasukan sampai ke lapisan tanah keras sehingga beban dipikul oleh lapisan tersebut. b. Kombinasi daya dukung selimut dan tahanan ujung. Pemancangan tiang dalam beberapa kasus mencapai tanah keras harus melalui lapisan tanah lempung terlebih dahulu sehingga dalam menghitung daya dukung, tiang pancang mengalami proses tahanan selimut sebelum mencapai tanah keras, maka dalam menghitung daya dukung maksimum digunakan analisis berdasarkan tahanan ujung (*end bearing*) maupun perlekatan tanah (*friction*).

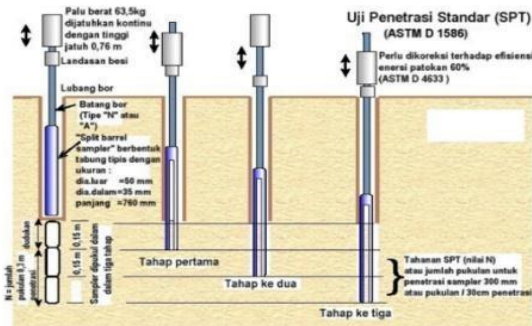
2. Metodologi Penelitian

Penyelidikan tanah merupakan hal mutlak yang harus dilakukan sebelum menentukan kedalaman, jenis dan dimensi suatu pondasi pada struktur bangunan, karena tanah menduduki peran yang sangat vital sebagai landasan pondasi agar beban bangunan tetap stabil dan terjaga. Terdapat berbagai metode dalam penyelidikan tanah, diantaranya pengujian langsung dilapangan (*in-situ test*) seperti uji CPT dan SPT, uji laboratorium (uji sample tanah) pada kedalaman tertentu, dan metode lainnya. Dari data yang diperoleh kemudian dijadikan pertimbangan dalam menganalisa jenis dan sifat-sifat teknis tanah, kapasitas dukung tanah, mengetahui posisi muka air tanah,

menentukan tipe dan kedalaman fondasi, besarnya penurunan, dan lainnya

Uji penetrasi standar (SPT) didasari pada ASTM D 1586. Metode uji ini dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah tak terganggu (undisturb) dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m.

Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, semen-tara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Hasil tersebut di-peroleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah yang merupakan bagian dari desain pondasi.



Gambar 1. Uji Penetrasi standar (SPT)
 Sumber: Terzaghi dan Peck, 1948

Uji SPT dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah, selain itu juga untuk meng-identifikasi jenis lapisan tanah setiap kedalamannya sehingga bisa menentukan jenis pondasi yang sesuai dengan sifat-sifat tanah tersebut, sifat tanah ditentukan dengan kerapatan relatif tanah, kerapatan relatif bisa didapatkan dengan menghubungkan dengan nilai N yang diusulkan oleh Terzaghi dan Peck (1948). Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi

tabung belah standar yang diartikan sebagai nilai- N untuk tanah pasir. Tabel 1 berikut menampilkan hubungan antara nilai N dengan kerapatan relative (D_r) untuk kondisi tanah pasir. Untuk menen-tukan nilai N berdasarkan kerapatan relatif, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

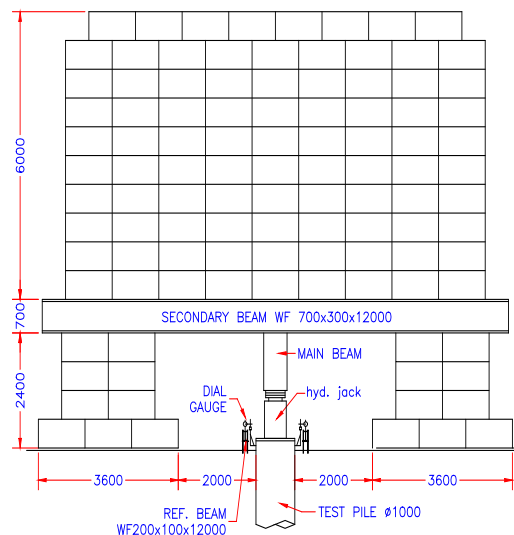
Tabel 1 Nilai N – Kerapatan relatif

Nilai N	Kerapatan Relatif (D_r)
< 4	Sangat tidak padat
4-10	Tidak padat
10-30	Kepadatan sedang
30-50	Padat
> 50	Sangat padat

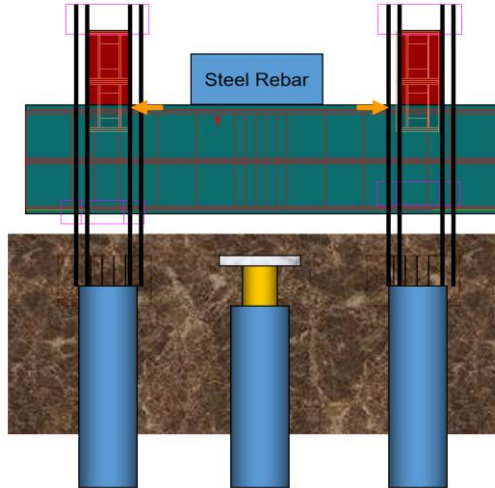
Uji Skala Penuh (Loading Test)

Pengujian skala penuh atau dikenal dengan Loading Test, dilakukan pada pondasi tunggal, dan dapat juga dilaksanakan pada pondasi kelom-pok. Pengujian Loading Test (SLT) di atur dalam SNI yang di dasari oleh ASTM D-1143 (Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load)

Pengujian loading test dilakukan pada beban maksimum desain pondasi tanpa merusak tiang pondasi tersebut. Untuk melaksanakan loading test dapat dilakukan dengan beban mati atau dengan menggunakan tiang reaksi disekitar titik tiang test. Pemberian beban test dilakukan secara bertahap sampai dengan mencapai 200% dari beban rencana (Gambar 2 - 3).



Gambar 2. Set up loading test - beban mati.

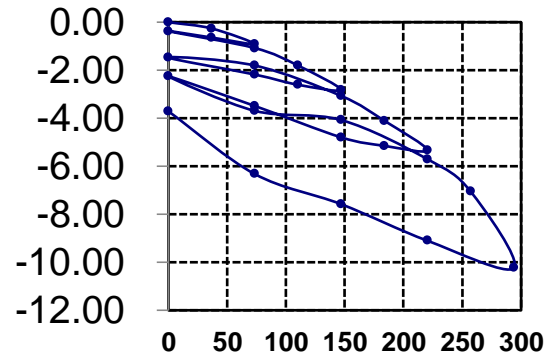


Gambar 3 Static loading test - tiang reaksi
 Adapun tahapan pembacaan pembebanan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Tahapan pembacaan SLT

No.	Beban	Urutan Pembacaan
Siklus 1	0	-
	25	0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100-110-120
	50	0-10-20-30-40-50-60
	25	0-10-20
	0	0-10-20-30-40-50-60
Siklus 2	50	0-10-20
	75	0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100-110-120
	100	0-10-20-30-40-50-60
	75	0-10-20
	50	0-10-20
	0	0-10-20-30-40-50-60
Siklus 3	50	0-10-20
	100	0-10-20
	125	0-10-20-30-40-50-60-70-80-90-100-110-120
	150	0-10-20-30-40-50-60
	125	0-10-20
	100	0-10-20
	50	0-10-20
	0	0-10-20-30-40-50-60
Siklus 4	50	0-10-20
	100	0-10-20
	150	0-10-20
	175	0-10-20-30-40-50-60-(70-80-90-100-110-120)
	200	0-10-20-30-40-50-60-(-70-80-90-100-110-120)
		Dan kemudian setiap jam
	150	0-10-20-30-40-50-60
	100	0-10-20-30-40-50-60
	50	0-10-20-30-40-50-60
	0	0-10-20-30-40-50-60-(-70-80-90-100-110-120)
		Dan kemudian setiap jam

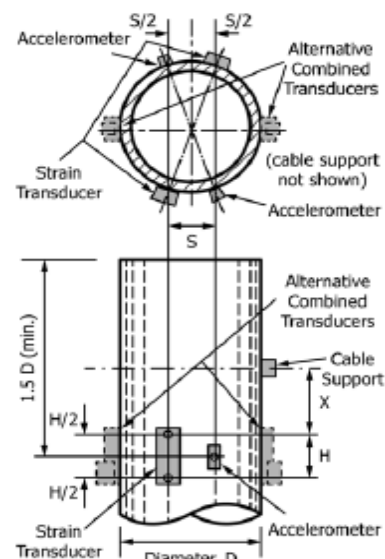
Dari hasil pembacaan pembebanan didapatkan hasil penurunan, dan di buat grafik pembebanan terhadap penurunan (Gambar 4).



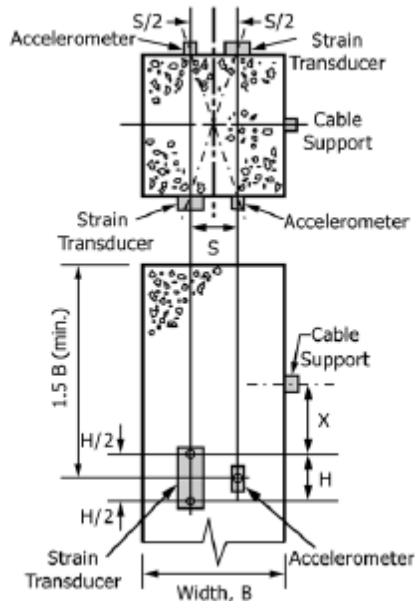
Gambar 4 Hasil pembebanan - penurunan
 Dengan hasil pembacaan dilanjutkan dengan analisa daya dukung tiang dengan beberapa metode seperti Marzukiwich, Chin, dan Davisson.

Uji Dinamik (Pile Driving Analyzer)

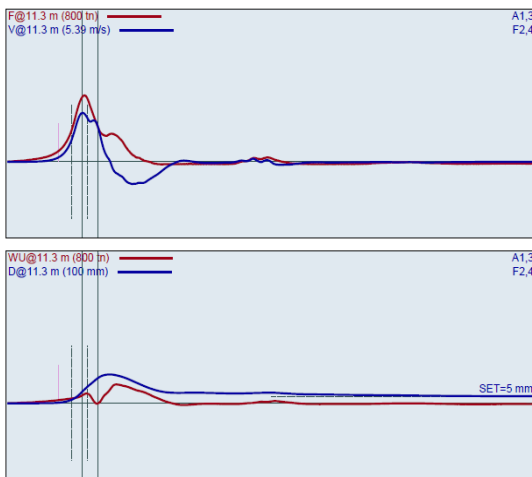
Pengujian Pile Driving Analyzer (PDA) adalah pengujian yang mempunyai berbagai macam standar. ASTM 4945 adalah standar yang umum digunakan. Pengujian PDA dilakukan dengan memberikan beban kejut dengan menggunakan palu sebesar 2-5% dari beban maksimum yang mau di capai. Untuk mendapatkan data pembacaan maka tiang uji harus dipasang sensor yaitu Strain Transducer yang berfungsi untuk membaca regangan dan Accelerometer untuk membaca cepat rambat gelombang pada tiang uji. Sensor diletakan minimum 2x diameter dari ujung atas tiang (Gambar 5 - 6)



Gambar 5. Sensor untuk tiang borpile



Gambar 6 Sensor tiang pancang kotak
 Setelah dilakukan pemasangan sensor maka dilakukan pemukulan dan pembacaan data setiap pukulan (Gambar 7).



Gambar 7. Grafik plotting PDA

Data yang dikeluarkan oleh computer PDA yaitu:

- Daya dukung maksimum (R_{MX}/R_{SU})
- Gaya Maksimum yang terbaca sensor (F_{MX})
- Energi Maksimum yang diterima sensor (E_{MX})
- Penurunan Maksimum Tiang (D_{MX})
- Penurunan Permanen Tiang (D_{FN})
- Kondisi Keutuhan Tiang (B_{TA})
- Kondisi Tekan Maksimum material (C_{SX})
- Kondisi Tarik Maksimum material (T_{SX})
- Perbandingan Transfer Energi (E_{TR})

Quantity	Results
R_{MX}	227 ton
C_{SU}	119 ton
C_{SX}	21.4 MPa
T_{SX}	2.5 MPa
E_{MX}	4.64 ton-m
F_{MX}	348 ton
D_{FN}	5 mm
D_{MX}	19 mm
B_{TA}	100.0 %
E_{TR}	28.1 %

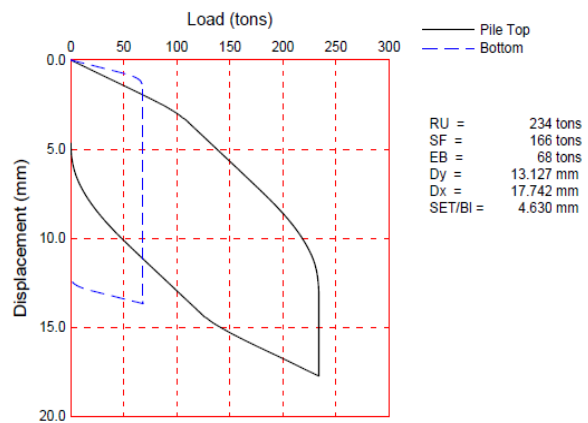
Gambar 8. Hasil uji PDA

Setelah didapatkan hasil lapangan maka dilanjutkan dengan analisa menggunakan program *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP). Dengan program ini didapatkan tahanan maksimum berdasarkan data lapangan, dan program ini dapat memisahkan tahanan selimut dan tahanan ujung.

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru tons
1	3.1	2.8	1.44
2	5.1	4.8	16.07
3	7.2	6.9	33.35
4	9.2	8.9	52.04
5	11.3	11.0	62.97
Avg. Shaft			33.17
Toe			67.94

Gambar 9. Hasil CAPWAP

Program CAPWAP juga mengeluarkan grafik analisa beban terhadap penurunan.



Gambar 10. Hasil CAPWAP

3. Metodologi Penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah daya dukung selimut (Q_s), daya dukung ujung tiang (Q_b), dan variabel terikat yaitu daya dukung tiang (Q_{ult}). Proses *back analysis* akan membandingkan hasil dari komposisi Q_s dan Q_b yang didapat dari pengujian SLT dan PDA dengan nilai yang didapat dari perhitungan empiris dari Metode Janbu, Mayerhoff dan Reese & Wright (Flow Chart pada Gbr. 14).

Rumus perhitungan daya dukung tiang dengan komponen *end bearing* dan *friction* berdasarkan beberapa metode, yaitu:

a) Metode Janbu:

$$Q_b = A_p \times [(c \times N_c) + (N_q \times Y \cdot H)] \dots (1)$$

$$Q_s = \sum 2\pi r \Delta l (C_u \times \alpha) + \sum 2\pi r \Delta l (k \cdot \sigma_v \tan(2/3)\Phi) \dots (2)$$

dimana:

- c = kohesi tanah (ton/m^2)
- r = Jari-jari penampang tiang (m)
- l = kedalaman tiang (m)
- k = hubungan sudut geser dalam - N_{spt}
- α = faktor adhesi
- Φ = sudut geser dalam (derajat)
- N_c = faktor daya dukung
- q' = daya dukung ijin tanah (ton/m^2)
- N_q = faktor daya dukung
- A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)
- H = kedalaman tiang (m)
- Y = berat jenis tanah (t/m^3)
- \tilde{N}_{SPT} = nilai rerata *NSPT* sepanjang tiang
- c_u = kohesi tanah undrained (ton/m^2)

b) Metode Meyerhof:

$$Q_b = A_p \times [(c \times N_c) + (q' \times N_q)] \dots (3)$$

$$Q_s = \sum 2\pi r \Delta l (C_u \times \alpha) + \sum 2\pi r \Delta l (k \cdot \sigma_v \cdot \tan(2/3)\Phi) \dots (4)$$

dimana:

- c = kohesi tanah (ton/m^2)
- N_c = faktor daya dukung
- q' = daya dukung ijin tanah (ton/m^2)
- r = Jari-jari penampang tiang (m)
- l = kedalaman tiang (m)
- k = hubungan sudut geser dalam - N_{spt}
- α = faktor adhesi
- Φ = sudut geser dalam
- N_q = faktor daya dukung
- A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)
- N = koefisien perlawanan gesek tiang
- \tilde{N} = nilai rata-rata *NSPT* sepanjang tiang
- A_s = luas selimut tiang (m^2)

c) Metode Reese and Wright:

$$Q_b = \frac{2}{3} x \frac{1}{0,3048^2} x \tilde{N} x A_p; N_{SPT} \leq 60 \dots (5)$$

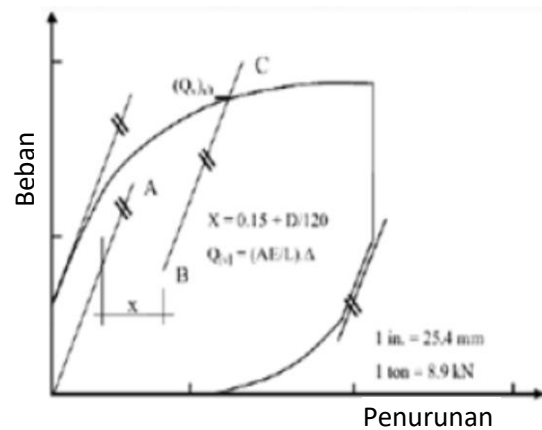
$$Q_s = 0.32 x \tilde{N} x p x \Delta l; N_{SPT} < 53 \dots (6)$$

dimana:

- A_p = luas penampang dasar tiang (m^2)
- \tilde{N} = nilai rata-rata *NSPT* sepanjang tiang
- A_p = luas penampang tiang (m^2)
- p = luas selimut tiang (m^2)
- Δl = kedalaman tiang yang ditinjau (m)

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan komponen end bearing dan skin friction, dari hasil tes statis lapangan kemudian di terapkan pada kapasitas maksimum static loading test yang telah di analisa menggunakan beberapa metode, yaitu:

1. Metode Davisson:



Gambar 11 Penentuan Q_u - Davisson

$$S_e = \frac{P \cdot L}{A_b \cdot E_b} \dots (7)$$

$$x = 0.15" + \frac{D}{120} \dots (8)$$

dimana:

- A_b = luas penampang tiang (m^2)
- D = diameter tiang (m)
- E_b = modulus elastisitas tiang (t/m^2)
- L = panjang tiang (m^2)
- P = beban yang diterapkan (ton)
- S_e = penurunan elastis tiang (m)
- x = garis sejajar elastis

2. Metode Chin

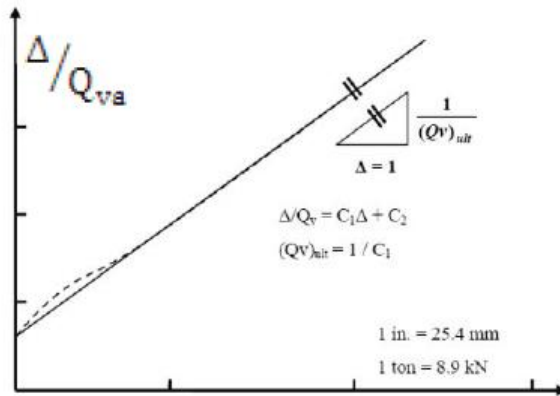
Metode Chin menganggap bahwa grafik hubungan antara beban dan penurunan berbentuk hiperbola. Prosedur penentuan ultimate dilakukan dengan cara memplot kurva hubungan beban dan penurunan berdasarkan data uji beban kemudian melakukan regresi terhadap data yang ada sehingga mendapatkan sebuah persamaan

$$\frac{\Delta}{Q_v} = C_1 \Delta + C_2 \dots (9)$$

$$(Q_v)_{ult} = \frac{1}{C_1} \dots (10)$$

dimana:

$Q_{v,ult}$ = beban tiang ultimit (ton)
 C_1 dan C_2 = koefisien Chin (lihat Gbr. 12)

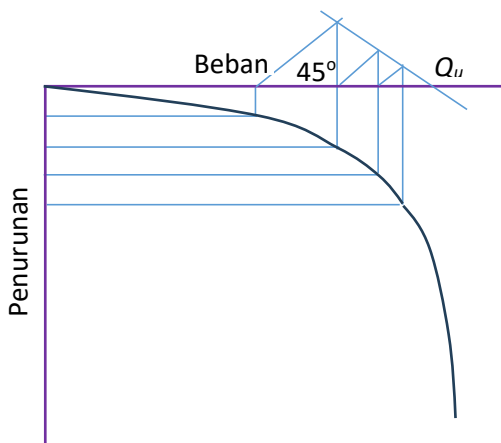


Gambar 12 Penentuan Q_u - Chin

3. Metode Mazurkiewich

Untuk menentukan beban ultimat maka dilakukan langkah-langkah berikut:

- Melakukan plot kurva beban – penurunan
- Menarik garis horizontal dari beberapa titik penurunan sehingga mengenai kurva dan menarik garis vertikal ke atas sampai melewati sumbu beban.
- Dari setiap perpotongan dibuat garis diagonal dengan sudut 45° sampai ke garis perpotongan berikutnya
- Hubungkan titik yang terbentuk sehingga menghasilkan garis lurus yang berpotongan dengan sumbu beban, yang merupakan nilai Q_u (beban ultimate).



Gambar 13 Penentuan Q_u – Mazurkiewich

Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan komponen end bearing dan skin friction, dari hasil analisis PDA test

didapatkan dari Analisa CAPWAP, yang juga mengeluarkan grafik analisa beban terhadap penurunan.

Pembacaan hasil dari PDA test dan analisis CAPWAP, adalah sebagai berikut:

$$RU = SF + EB \text{ (skin friction) } \dots\dots (11)$$

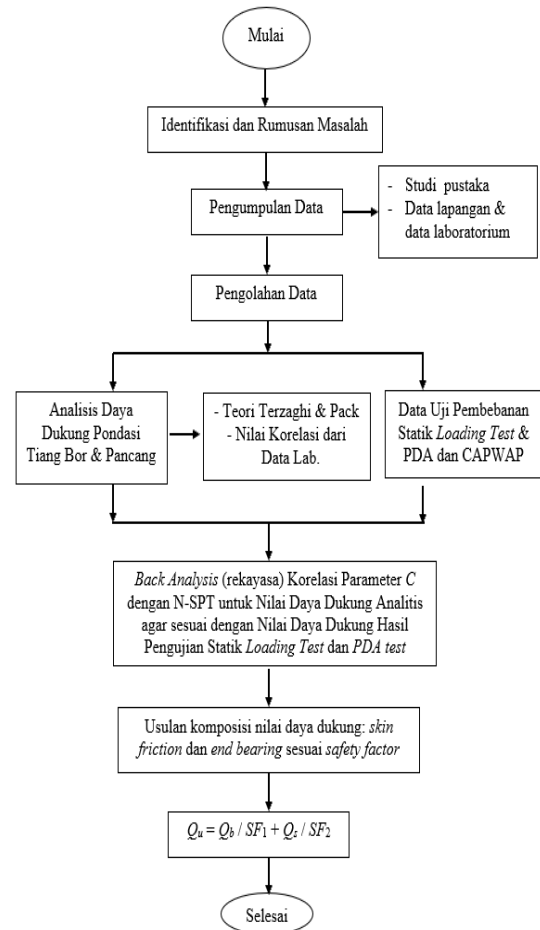
$$Q_b = SF \text{ (skin friction) } \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_s = EB \text{ (end bearing) } \dots\dots\dots (13)$$

dimana:

RU = resistance ultimate; daya dukung, ton
 SF = skin friction; tahanan friksi selimut, ton
 EB = end bearing; tahanan ujung, ton

Adapun langkah perhitungan back analysis daya dukung tiang berdasarkan hasil tes lapangan dengan rumus empiris, dapat ditampilkan pada flow chart seperti di Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Flow Chart daya dukung tiang

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis dari rumus empiris untuk menentukan daya dukung tiang pancang dan tiang bor, dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 berikut.

Tabel 3 Analisis daya dukung tiang pancang

Data tanah Posisi	Depth (m)	Friksi Janbu	Bearing Janbu	Q_{ult} $SF = 3$
B-1	12-14	8,9	203,9	212,8
B-2	12-14	9,7	204,5	214,2
B-3	12-14	11,1	275,1	286,2
B-5	12-14	9,4	300,1	309,5
B-7	12-14	15,5	452,7	468,1
Average	12-14	10,9	287,3	298,2
Prosentase		3,66%	96,34%	100%

Tabel 4 Hasil analisis daya dukung tiang bor

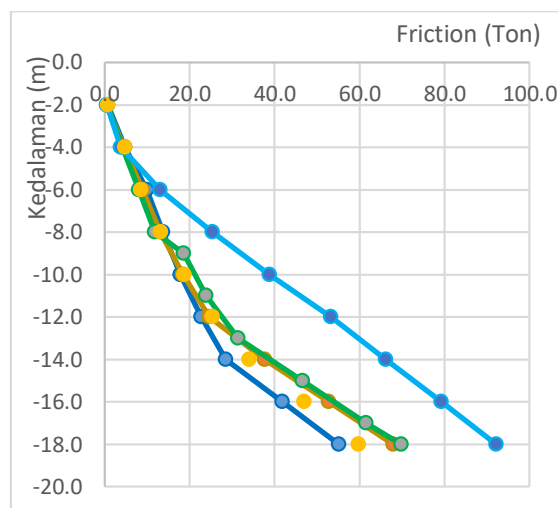
Data tanah Posisi	Depth (m)	Friksi Meyerhof	Bearing Meyerhof	Q_{ult} $SF = 3$
DB-1	30	268,1	1.281,9	1.549,9
DB-3	30	268,1	1.281,9	1.549,9
DB-4	30	153,0	679,5	832,4
Average	30	229,7	1.081,1	1.310,8
Prosentase		17,52%	82,48%	100%

Dengan menggunakan hasil PDA test dan dibandingkan dengan rumus empiris, dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Analisis PDA daya dukung tiang

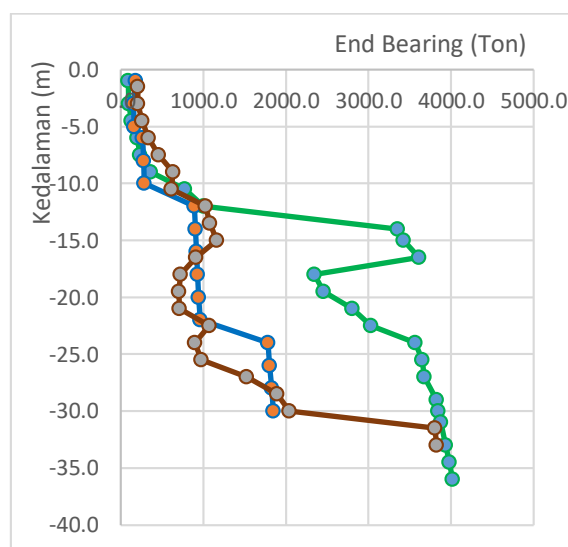
Tipe tiang	Depth	Tipe tiang	Friksi (%)	Bearing (%)
PDA test	12 m	Tiang Pancang	34,13%	65,87%
Metode Janbu	12 m	Tiang Pancang	3,66%	96,34%
Koreksi B.A.	12 m	Tiang Pancang	18,89%	81,11%
PDA test	30 m	Bored pile	59,38%	40,59%
Metode Janbu	30 m	Bored pile	17,52%	82,48%
Koreksi B.A.	30 m	Bored pile	38,47%	61,53%

Gambar 15 berikut ini menunjukkan nilai dari tahanan selimut tiang (skin friction) untuk tiang pancang dengan Metode Meyerhof.



Gambar 15 Nilai skin friction – Meyerhof

Untuk nilai tahanan ujung (end bearing) pada tiang bor dengan metode Janbu pada kedalaman 30 meter, dapat dilihat pada Gambar 16 berikut ini.



Gambar 16 Nilai end bearing – Janbu

Setelah analisis daya dukung aksial tiang pancang dan penurunan (settlement) pada pondasi struktur shearwall dari ketiga metode diatas didapat, maka selanjutnya ialah membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisa metode manakah yang nilai daya dukungnya mendekati nilai PDA serta metode manakah yang hasil analisa daya dukungnya berbeda jauh dengan nilai PDA.

Dari hasil analisis data mengenai daya dukung aksial pondasi tiang pancang pada Proyek Oxley dan Proyek Orchard View dapat diambil beberapa hasil pembahasan, antara lain:

1. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung aksial Proyek Oxley menggunakan data SPT dan uji Laboratorium pada kedalaman 12-14 m dari beberapa metode didapat nilai daya dukung ultimit tiang pancang ukuran 40 cm x 40 cm sebesar:
 - a) Friksi + End Bearing dengan Metode Janbu 300 ton
 - b) Friksi Metode Janbu + End Bearing Metode Reese & Wright 145 ton
 - c) Friksi Metode Janbu + End Bearing Metode Reese & O'Neil 126 ton
 - d) Friksi + End Bearing metode Mayerhoff 298 ton
 - e) Friksi Metode Mayerhoff + End Bearing Reese & Wright 303 ton
2. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung aksial Proyek Orchard View menggunakan data SPT dan uji Laboratorium pada kedalaman 30 m dari beberapa metode didapat nilai daya dukung ultimit tiang bor diameter 90 cm, sebesar:
 - a) Friksi + End Bearing dengan Metode Janbu 1311 ton
 - b) Friksi Metode Janbu + End Bearing Metode Reese & Wright 1082 ton
 - c) Friksi Metode Janbu + End Bearing Metode Reese & O'Neil 960 ton
 - d) Friksi Mayerhoff + End Bearing metode Meyerhof 1310 ton
 - e) Friksi Metode Mayerhoff + End Bearing metode Reese & Wright 942 t
3. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung aksial Proyek Oxley menggunakan data hasil PDA test pada posisi zona 2-7 pada kedalaman 12-14 m, dan Proyek Orchard View posisi 3 titik pile pada kedalaman 30 meter, di dapat nilai daya dukung ultimit tiang sebesar:
 - a) Tiang Pancang 40 cm x 40cm kedalaman 12-14 meter, sebesar 246 ton
 - b) Bored Pile diameter 90 cm kedalaman 30 meter, sebesar 1328 ton
4. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung aksial Proyek Oxley menggunakan data hasil loading test pada kedalaman 12-14 m, dan Proyek Orchard -View pada posisi kedalaman 30 meter, di dapat nilai daya dukung ultimit tiang pancang sebesar:
 - a) Tiang Pancang 40cm x 40cm kedalaman 12-14 meter, sebesar 261 ton
 - b) Bored Pile diameter 90 cm kedalaman 30 meter, sebesar 1097 ton
5. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung aksial Proyek Oxley menggunakan data hasil PDA test dan loading test pada kedalaman 12-14 m, dan Proyek Orchard View pada posisi kedalaman 30 meter dari beberapa metode didapat nilai daya dukung ultimate tiang pancang dan tiang bor, yang mendekati dari nilai tersebut, yaitu:
 - a) Tiang Pancang : Friction Janbu + End Bearing Janbu; $Q_{all} = 298$ ton
Komposisi friction - end bearing; 34,1% untuk friksi dan 65,9% end bearing
 - b) Bored Pile : Friction + End Bearing Meyerhoff; ; $Q_{all} = 1310$ ton
Komposisi friction - end bearing; 59,4% untuk friksi dan 40,6% end bearing
6. Faktor koreksi untuk tiang pancang dengan menggunakan metode Janbu didapat dengan komposisi 60% friksi dan 40% end bearing, atau ditambahkan 12,5% - 17,5% terhadap nilai friksi perhitungan. Untuk nilai koreksi pada bored pile dengan menggunakan metode Mayerhof didapat dengan komposisi 38% friksi dan 62% *end bearing* perlu ditambahkan 17,5% - 22,5% pada perhitungan friksi atau dikurangi sekitar 20% pada tahanan ujung (*end bearing*).
7. Nilai *safety factor* pada tahanan ujung tiang (end bearing) didapatkan nilai range $3,0 < SF_1 < 5,0$ serta untuk tahanan selimut tiang (*skin friction*) dapat diambil sebesar $1,5 < SF_2 < 3,0$. Sehingga persamaan untuk menentukan nilai dari kapasitas tiang ultimit dapat dihitung sebagai berikut:
$$Q_u = Q_b / SF_1 + Q_s / SF_2$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan

hasil tersebut sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu:

1. Nilai komposisi daya dukung Friksi dan End Bearing berdasarkan kapasitas loading test dengan menggunakan komposisi daya dukung Friksi dan End Bearing pada data PDA didapatkan rata-rata sebesar 34.1% untuk Friksi dan 65.9% untuk End Bearing pada proyek Oxley. Nilai komposisi daya dukung Friksi dan End Bearing berdasarkan kapasitas loading test dengan menggunakan komposisi daya dukung Friksi dan End Bearing pada data PDA didapatkan rata-rata sebesar 59.4% untuk Friksi dan 40.6% untuk End Bearing pada proyek Orchard View
2. Hasil faktor koreksi (Friksi dan End Bearing) dari estimasi daya dukung pondasi, melalui analisa balik hasil pengujian beban di lapangan. yaitu Loading Test dan Pile Driving Analyzer didapatkan untuk tiang pancang beton prestressed sebesar 12,5 – 17,5%. dan untuk bored pile adalah sebesar 17,5% - 22,5%
3. Evaluasi faktor koreksi terhadap rumus daya dukung dengan menggunakan komposisi Friksi dan End Bearing pada data aktual PDA dengan komposisi antar tiang pancang dan bored pile tidak berbeda secara signifikan. Untuk friksi pada tiang pancang sangat dominan, sedangkan pada bored pile dengan kedalaman lebih dari dua kali lipat didapatkan end bearing yang sangat dominan dibandingkan dengan tahanan friksi. Safety factor untuk *skin friction* sebesar 1,5 – 3,0 dan untuk tiang bor diambil SF sebesar 3,0 – 5,0.

Ucapan Terima Kasih

Disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi pada penelitian ini terutama kepada PT. Pratama Widya, Tbk. dan PT Megah Adhi Karya atas dukungan data dan pendanaan yang telah diberikan, sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik

Daftar Pustaka

Afriyanto, A., (2017), Analisis Perencanaan Pondasi Tiang Pancang dengan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen

the Frontage Surabaya, Tesis, Jurusan Teknik Sipil, ITS Surabaya.

Aldino, R. (2019). Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data SPT, dan Data PDA Test pada Tiang Pancang No.7 dan No. 25 Pile Cap No.1 Overpass Sta 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru - Dumai. Pekanbaru: Universitas Islam Riau Pekanbaru.

ASTM D1143-07 Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load. (1994). Annual Book of ASTM Standards (American Society for Testing and Material), 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428), Unites States.

André Q & Façal M., 2017, Simplified Hiley's Formula Calibration For Precast Concrete Piles In Duque De Caxias, International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering, ICASGE'17, 27- 30 March 2017, Hurghada, Egypt

Bowles, J.E., 1996, Foundation Analysis and Design, 5th Edition. Singapore: McGrawHill Companies, Inc

Chorus S.R., (2020), 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 DPRD Bangkalan), IJTI (International Journal Of Transportation And Infrastructure), Volume 03 Number 02

Coduto, D.P. (1994). Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall International, Inc, New Jersey

Decourt L. (1999). "Behaviour of Foundation under Working Load Condition". Proceedings of the Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz Dolguassu, Brazil, Vol 4, pp. 453-488.

Haryadi, D dan Prakoso, W.A (2023), Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas Metode Dinamis (PDA Test) pada Pondasi Tiang Pancang Sistem Pancang

- Tekan, Wahana Teknik Sipil, Vol. 28 No. 1, pp. 15 - 28
- Kosasi, M, et al. (2020)**, "Korelasi Daya Dukung Pondasi Tiang Antara Static Loading Test Dengan Pile Driving Analyzer." *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 2, 2014.
- Hasnat, A., Uddin, A. F., Haque, E., Saha, P., & Rahman, M. W. (2012)**. "Ultimate Load Capacity of Axially Loaded Vertical Piles from Full Scale Load Test Results Interpretations- Applied to 20 Case Histories". International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD-2012), KUET, Khulna, Bangladesh.
- Haryadi D., and Widjojo A.P (2023)**, Analisa Statistik Hasil Uji Kapasitas Metode Dinamis (PDA Test) pada Pondasi Tiang Pancang Sistem Pancang Tekan, Wahana Teknik Sipil, Vol. 28 No. 1 pp. 15 - 28
- Lastiasih, Y., Irsyam, M., Sidi, I.J., Toha, F.X. (2013)**, Reabilitas Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Berdasarkan Formula Reese & Wright dan Usulan Load Resistance Factor Design dalam Perencanaan Pondasi Tiang Bor Studi Kasus Proyek Jakarta, Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol. 19 No. 2, pp. 135-140.
- Mazurkiewicz, B.K. (1972)**. "Test Loading of Piles According to Polish Regulations", Preliminary Report No. 35, Commission on Pile Research, Royal Swedish Academy of Engineering Services, Stockholm
- Meyerhof G.G. (1976)**. Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, ASCE: Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division. Vol. 102, No. GT 3.
- Pratama N., Nagari, P.E., Sudarmono, Setyono, K.J., dan Suwarno, A. (2022)**, Komparasi Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data N-SPT, Kalendering, dan PDA Test (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 2: STA 10+690 s.d. 27+000), Jurnal Bangun Rekaprima, Vol. 08, No. 2, pp. 71-77.
- PT. Pratama Widya (2015-2017)**, Laporan data tanah dan uji lab.
- PT. Megah Adhi Karya (2016-2018)**, Laporan *Loading Test* dan *Pile Driving Analyzer*.
- Rausche. F., (2002)**, Modeling of Vibratory Pile Driving, Proceedings of the International Conference On Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction, APA (pp. 21-32)
- Rahmat, U.G., & Qurina A.E., 2020**, Analisis Produktivitas Tiang Pancang dengan Jack-in Pile pada Konstruksi Workshop. Jurnal Transukma. Vol. 3, No. 1, pp. 17-24.
- Shaarawi, E., Abdelrahman, G., & Abouzaid, K. (2003)**. "Interpretation of Axial Pile Load Test Result for Continuous Flight Auger Piles". Proceedings of 9th Arab Structural Engineering Conference, Abu Dhabi, UAE.
- Triastuti, N. & Indriasari. (2020)**, Analisis Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Perhitungan dan Loading Test, Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (CESD), Vol. 1 No. 1, pp.1-10
- Yusti, A., dan Fahrani, F. (2014)**. Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan Capwap (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang), Jurnal Fropil, Vol 2 Nomor 1. Januari – Juni. Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung.
- Zakahfi A. T. and Kusumawardani R., (2018)**, Perbandingan Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Menggunakan Metode Perhitungan L. Decourt dan Tes PDA, *Teknika*, Vol. 13, No. 1, p. 11-13, doi: 10.26623/teknika.v13i1.724.